



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Facultad de Ciencias

Escuela de Ingeniería Química

“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BAÑOS DE AGUA SANTA”.

Tesis de Grado Previa la obtención del título de:

INGENIERO QUÍMICO

ANDRÉS FRANCISCO ÁVILA VELASTEGUI

Riobamba – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por guiar mis pasos y brindarme la sabiduría con la cual llego a la culminación de una etapa más de mi vida.

A mis padres, ya que con sus enseñanzas, esfuerzo y amor incondicional, han sido la fuente de mi inspiración, a mis hermanos por brindarme su compañía y aliento, a mis abuelitos que han sabido inculcarme su sabiduría en todo momento.

Al GAD Municipal del Cantón Baños de Agua Santa, quienes me abrieron la puerta para realizar esta investigación, en especial al Ing. German Vega Director de Saneamiento Ambiental por su confianza y valiosa colaboración en el transcurso del proyecto.

Un especial agradecimiento a la Ing. Mónica Andrade y al Ing. Marco Chuiza por su apoyo, contribuyendo con sus amplios conocimientos para llegar a la culminación de este proyecto de investigación.

Finalmente a todas las personas que han sido parte esencial en mi vida, quienes con sus consejos y su aliento ayudaron a concluir mi meta.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a mis padres por tanto amor y comprensión, guiándome siempre por el camino del bien, a mis hermanos, abuelitos y toda mi familia por estar siempre preocupados del desarrollo de la investigación y deseosos de la culminación del mismo, a Andi la persona más especial en mi vida, por apoyarme en todo momento y por ser mi confidente en mis sueños e ideales.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BAÑOS DE AGUA SANTA” de responsabilidad del señor Andrés Francisco Ávila Velastegui ha sido revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

- Dra. Nancy Veloz

.....

.....

DECANO FAC. CIENCIAS

- Dr. Juan Ramos

.....

.....

DIRECTOR DE ESCUELA

- Ing. Mónica Andrade

.....

.....

DIRECTOR DE TESIS

- Ing. Marco Chuiza

.....

.....

COLABORADOR DE TESIS

- Abga. Bertha Quintanilla

.....

.....

COORDINADOR SISBIB

NOTA DE TESIS

.....

*“Yo, **ANDRÉS FRANCISCO ÁVILA VELASTEGUI**, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”*

Andrés Ávila Velastegui

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta

A: Área

Ac: Área de los canales de floculación

Af: Área de Filtración

Af: Área de Filtración

af: Área de filtración de la unidad

Ai: Área de cada unidad

Ao: Área de cada orificio

bf: Ancho de la unidad de filtración

C= Concentración de acuerdo al test de jarras

Cu= Coeficiente de uniformidad

d: Concentración cloro (mg/L)

D: Diámetro de tubería de entrada al filtro

DI: Diámetro orificios laterales

e: Espesor de las láminas

g: Aceleración de la gravedad

G: Gradiente de velocidad

h: Pérdida continua por vueltas

hf: Pérdida de carga continúa en los canales

Hu: Altura de la unidad

I: Pureza del cloro (%)

K: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas

L: Largo

l: Largo del canal

Lc: Longitud del Canal

Lf: Longitud del floculador

Lm: Longitud total mínima de la pared

Ltp: Longitud total de la pared

n: Coeficiente de Manning

Nc: Número de canales

nf: Determinación del número de módulos de filtración

ni: Número de filtros

P: Perímetro Mojado

P = Porcentaje de dilución

Q: Caudal

Q_o = Caudal que ingresa al orificio

r: Radio medio Hidráulico

Sf: Superficie Filtrante Requerida

T: Tiempo de retención

t : Tiempo óptimo de lavado

T_e = Tamaño efectivo de arena

T_f : Tasa de filtración

v : Velocidad de flujo

V_l : Cantidad de agua para el lavado

v_l : Velocidad de lavado

v_{or} : Velocidad en el orificio

v_t : Velocidad en la tubería

x : Dosificación del agente coagulante

α : Ancho de los canales de floculador

ρ = Densidad del Sulfato de Aluminio

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO.....	- 6 -
1. Agua.....	- 6 -
1.1. Calidad del Agua.....	- 6 -
1.2. Agua cruda o en estado natural (Sin tratamiento)	- 7 -
1.3. Aguas residuales.....	- 8 -
1.4. Agua tratada (Agua potable)	- 8 -
1.5. NORMA 1108:2006. Requisitos del agua potable.....	- 8 -
1.6. Ciclo hidrológico.....	- 14 -
1.7. Clasificación de los cuerpos de agua.....	- 15 -
1.7.1. Lluvia.....	- 15 -
1.7.2. Agua de superficie.	- 16 -
1.7.3. Ríos.	- 16 -
1.7.4. Lagos.....	- 16 -
1.7.5. Agua subterránea.....	- 17 -
1.8. Importancia del recurso agua.....	- 17 -
1.9. Propiedades del agua.....	- 18 -
1.9.1. Densidad.....	- 19 -
1.9.2. Viscosidad.....	- 19 -
1.9.3. Calor específico (CE)	- 20 -
1.9.4. Tensión superficial.....	- 20 -
1.10. Parámetros físicos, químicos y biológicos.....	- 21 -
1.10.1. Parámetros físicos.....	- 21 -
1.10.1.1. Turbiedad.	- 21 -
1.10.1.2. Color.	- 22 -
1.10.1.3. Visibilidad.....	- 23 -
1.10.1.4. Olor y sabor.	- 23 -
1.10.1.5. Temperatura.	- 24 -
1.10.1.6. Sólidos.	- 24 -
1.10.2. Parámetros químicos.....	- 25 -

1.10.2.1.	Indicadores.....	- 25 -
1.10.2.1.1.	pH.....	- 25 -
1.10.2.1.2.	Conductividad.....	- 26 -
1.10.2.1.3.	Acidez.....	- 26 -
1.10.2.1.4.	Alcalinidad.....	- 27 -
1.10.2.1.5.	Dureza.....	- 27 -
1.10.3.	Características biológicas.....	- 28 -
1.11.	Procesos del tratamiento del agua.....	- 28 -
1.12.	Tratamiento de agua.....	- 29 -
1.12.1.	Captación.....	- 29 -
1.12.2.	Coagulación.....	- 29 -
1.12.2.1.	Factores que influyen en la coagulación.....	- 30 -
1.12.2.2.	Valor de pH óptimo para la coagulación.....	- 31 -
1.12.2.3.	Mezcla.....	- 31 -
1.12.3.	Floculación.....	- 32 -
1.12.3.1.	Tipos de Floculadores.....	- 32 -
1.12.3.2.	Parámetros para la optimización.....	- 33 -
1.12.4.	Filtración.....	- 39 -
1.12.4.1.	Tipos de Filtros.....	- 42 -
1.12.4.1.1.	Filtros de acción lenta.....	- 42 -
1.12.4.1.2.	Filtros de acción rápida.....	- 43 -
1.12.4.2.	Sistemas de filtración.....	- 43 -
1.12.4.2.1.	Dirección de flujo.....	- 43 -
1.12.4.2.2.	Tipo de lecho filtrante.....	- 44 -
1.12.4.2.3.	Fuerza impulsora.....	- 44 -
1.12.4.2.4.	Tasa de filtración.....	- 45 -
1.12.4.2.5.	Método de Control.....	- 46 -
1.12.4.3.	Parámetros de optimización.....	- 46 -
1.12.5.	Dosificación del Agente Coagulante.....	- 53 -
1.12.6.	Desinfección.....	- 54 -
1.12.6.1.	Dosificación de Cloro Gas.....	- 54 -
1.13.	Optimización.....	- 56 -
1.13.1.	Pruebas de jarras.....	- 57 -

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL.....	- 58 -
2. Muestreo.....	- 58 -
2.1. Localización de la investigación.....	- 58 -
2.2. Recolección de muestras.....	- 58 -
2.3. Metodología.....	- 59 -
2.3.1. Metodología de trabajo.....	- 59 -
2.3.4. Métodos y Técnicas.....	- 62 -
2.3.4.1. Métodos.....	- 62 -
2.4. Datos Experimentales.....	- 64 -
2.4.1. Descripción del sistema actual existente en el sector.....	- 64 -
2.4.2. Datos.....	- 65 -
2.4.2.1. Caracterización del agua.....	- 65 -
2.4.2.2. Caracterización microbiológica.....	- 71 -
2.4.2.3. Prueba de Jarras.....	- 71 -

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	- 74 -
3. Cálculos.....	- 74 -
3.1. Dimensionamiento de Floculador.....	- 74 -
3.1.1. Área en función de la Altura.....	- 74 -
3.1.2. Velocidad de Flujo.....	- 75 -
3.1.3. Longitud del canal.....	- 75 -
3.1.4. Longitud del Floculador.....	- 76 -
3.1.5. Perímetro mojado de las secciones del tramo.....	- 76 -
3.1.6. Área de canales de floculador.....	- 77 -
3.1.7. Radio medio hidráulico.....	- 77 -
3.1.9. Perdida de carga continua en las vueltas.....	- 79 -
3.1.10. Perdida de carga total en el último tramo.....	- 79 -
3.1.11. Gradiente de velocidad.....	- 80 -
3.2. Dimensionamiento de Filtro.....	- 81 -
3.2.1. Superficie filtrante requerida.....	- 81 -
3.2.2. Área de filtración.....	- 81 -

3.2.3.	Número de módulos de filtración.....	- 82 -
3.2.5.	Longitud total de pared.....	- 83 -
3.2.6.	Longitud total mínima de pared.....	- 84 -
3.2.7.	Tubería de entrada al filtro.....	- 84 -
3.2.11.	Cantidad de agua para lavado.....	- 87 -
3.3.	Determinación del Agente Coagulante.....	- 87 -
3.3.1.	Cálculo de dosificación de Sulfato de Aluminio en Época Invernal.....	- 87 -
3.3.2.	Cálculo de la dosificación de Sulfato de Aluminio en Época Verano.....	- 89 -
3.4.	Calculo de Dosificación de Cloro Gas.....	- 90 -
3.5.	Porcentaje de Remoción.....	- 91 -
3.5.1.	Turbiedad.....	- 91 -
3.5.2.	Color.....	- 91 -
3.5.3.	Nitritos.....	- 91 -
3.5.4.	Fosfatos.....	- 92 -
3.6.	Cálculo de los Costos de Operación con Sulfato de Aluminio.....	- 92 -
3.6.1.	Cálculo de los costos de operación para época invernal.....	- 92 -
3.6.2.	Cálculo de los costos de operación para época verano.....	- 93 -
3.7.	Resultados.....	- 94 -
3.7.1.	Resultados Floculador.....	- 94 -
3.7.2.	Resultados Filtros.....	- 95 -
3.7.3.	Resultados Dosificación Agente Coagulante.....	- 96 -
3.7.4.	Resultado Optimización de Agua Potable Prueba de Jarras.....	- 97 -
3.7.5.	Resultado de dosificación de Cloro.....	- 98 -
3.7.6.	Porcentaje de Rendimiento.....	- 98 -
3.8.	Propuesta.....	- 101 -
3.9.	Presupuesto General.....	- 102 -
3.9.1.	Costos de operación.....	- 102 -
3.9.1.1.	Costos de operación al día.....	- 102 -
3.10.	Comparación entre Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio.....	- 103 -
3.11.	Análisis y Discusión de Datos.....	- 104 -
CONCLUSIONES.....		- 105 -
RECOMENDACIONES.....		- 106 -
BIBLIOGRAFÍA.....		- 107 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1-1	Tipos de Floculadores	- 33 -
Ilustración 1-2	Filtro Lento de Arena	- 42 -
Ilustración 1-3	Tipos de Filtros.....	- 43 -
Ilustración 1-4	Medios de Filtración.....	- 44 -
Ilustración 3-1	Estado Actual de la Planta de Tratamiento	- 101 -
Ilustración 3-2	Propuesta	- 101 -

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1	COEFICIENTE DE MANNING	- 37 -
TABLA 1-2	RELACIÓN TEMPERATURA Y RELACIÓN PESO ESPECÍFICO...	- 39 -
TABLA 1-3	VARIABLES PRINCIPALES DE PROCESOS DE FILTRACIÓN	- 40 -
TABLA 1-4	VARIABLES PRINCIPALES DE PROCESO DE FILTRACIÓN.....	- 41 -
TABLA 2-1	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	- 59 -
TABLA 2-2	PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	- 60 -
TABLA 2-3	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	- 61 -
TABLA 2-4	METODOLOGÍA	- 62 -
TABLA 2-5	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO SEMANA 1	- 66 -
TABLA 2-6	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO TRATADA SEMANA 1...	- 67 -
TABLA 2-7	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO SEMANA 2	- 68 -
TABLA 2-8	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO SEMANA 3	- 69 -
TABLA 2-9	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO SEMANA 4	- 70 -
TABLA 2-10	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA CAPTACIÓN	- 71 -
TABLA 2-11	PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 2,2 PRIMERA SEMANA	- 72 -
TABLA 2-12	PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 0,9 SEGUNDA SEMANA	- 72 -
TABLA 2-13	PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 5,1 TERCERA SEMANA.....	- 73 -
TABLA 2-14	PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 6,55 CUARTA SEMANA.....	- 73 -
TABLA 3-1	RESULTADOS FLOCULADOR FLUJO HORIZONTAL	- 94 -
TABLA 3-2	RESULTADOS FILTROS.....	- 95 -
TABLA 3-3	RESULTADO DOSIFICACIÓN COAGULANTE INVERNAL	- 96 -
TABLA 3-4	RESULTADO DOSIFICACIÓN COAGULANTE VERANO.....	- 96 -
TABLA 3-5	RESULTADOS OPTIMIZACIÓN PRUEBA DE JARRAS	- 97 -
TABLA 3-6	RESULTADO DE DOSIFICACIÓN DE CLORO GAS.....	- 98 -
TABLA 3-7	PORCENTAJE DE REMOCIÓN	- 98 -
TABLA 3-8	COSTOS DE OPERACIÓN SULFATO DE ALUMINIO INVERNO -	102 -
TABLA 3-9	COSTOS DE OPERACIÓN SULFATO DE ALUMINIO VERANO. -	102 -

TABLA 3-10	COSTOS DE OPERACIÓN SULFATO DE ALUMINIO.....	- 103 -
TABLA 3-11	COSTOS DE OPERACIÓN POLICLORURO DE ALUMINIO.....	- 103 -

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 3-1	TURBIEDAD ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO	- 99 -
GRÁFICO 3-2	COLOR ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO.....	- 99 -
GRÁFICO 3-3	NITRITOS ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO	- 100 -
GRÁFICO 3-4	FOSFATOS ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO	- 100 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 3-1)	Área en función de la Altura	- 74 -
(Ecuación 3-2)	Velocidad de Flujo	- 75 -
(Ecuación 3-3)	Longitud del canal.....	- 76 -
(Ecuación 3-4)	Longitud del Floculador.....	- 76 -
(Ecuación 3-5)	Perímetro mojado de las secciones del tramo	- 77 -
(Ecuación 3-6)	Área de canales de Floculador	- 77 -
(Ecuación 3-7)	Radio medio hidráulico.....	- 78 -
(Ecuación 3-8)	Perdida de carga continua en los canales	- 78 -
(Ecuación 3-9)	Perdida de carga continua en las vueltas.....	- 79 -
(Ecuación 3-10)	Perdida de carga total en el último tramo	- 80 -
(Ecuación 3-11)	Gradiente de velocidad	- 80 -
(Ecuación 3-12)	Superficie filtrante requerida	- 81 -
(Ecuación 3-13)	Área de filtración	- 82 -
(Ecuación 3-14)	Número de módulos de filtración	- 82 -
(Ecuación 3-15)	Ancho de la unidad	- 83 -
(Ecuación 3-16)	Longitud total de pared	- 83 -
(Ecuación 3-17)	Longitud total mínima de pared	- 84 -
(Ecuación 3-18)	Tubería de entrada al filtro.....	- 84 -
(Ecuación 3-19)	Área de cada orificio	- 85 -
(Ecuación 3-20)	Caudal que ingresa a cada orificio	- 86 -
(Ecuación 3-21)	Velocidad óptima de lavado.....	- 86 -
(Ecuación 3-22)	Cantidad de agua para lavado	- 87 -
(Ecuación 3-23)	Dosificación de Sulfato de Aluminio en época invernal	- 87 -
(Ecuación 3-24)	Dosificación de Sulfato de Aluminio en época verano.....	- 89 -
(Ecuación 3-25)	Dosificación de Cloro Gas	- 90 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	108
ANEXO II.....	108
ANEXO III	108
ANEXO IV	108
ANEXO V	108
ANEXO VI	108
ANEXO VII.....	108
ANEXO VIII.....	108
ANEXO IX	108

RESUMEN

Se realizó la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua, con el fin de proporcionar agua de óptima calidad para los habitantes de este Cantón. Se realizó caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas en la entrada y salida de agua de la planta; identificando los parámetros irregulares de acuerdo con la norma, también se realizó pruebas de jarras para la dosificación apropiada de Sulfato de Aluminio. En base a la Norma y tomando como referencia los resultados obtenidos mediante las caracterizaciones, pruebas de jarras y cálculos de ingeniería; se debe utilizar la dosificación de Sulfato de Aluminio de 323,97 g por día en temporada lluviosa (Concentración 15 p.p.m.) y 258,9 g por día en temporada seca (Concentración 12 p.p.m.) y con la dosificación de Cloro Gas de 24,3 kg, por tanto se evidencia, que todos los parámetros se encuentran dentro de los valores permisibles. Para la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, el GAD Municipal del Cantón Baños debe dosificar correctamente el coagulante en la etapa de coagulación y el cloro gas en la etapa de cloración, para mejorar la eficiencia de la planta y brindar a los pobladores agua apta para el consumo.

SUMMARY

It was made the optimization of the Treatment Plant of drinking water of Decentralized Autonomous Government of Baños de Agua Santa, province of Tungurahua, in order to give water of high quality for the habitants of this Canton. Characterizations physic-chemical and microbiological were made flow and return of water; identifying the irregular parameters according to the rules, also were made tests of jars for appropriate dosing of Aluminium sulphate. Based on the rule and taking like reference the obtained results through the characterizations, tests of jars and engineering calculations, it should use the dosing of Aluminium Sulphate of 323,97 g per day in rainy season (Concentration 15 p.p.m.) and 258.9 g per day in dry season (Concentration 12p.p.m.) and with dosing of chloride gas of 24.3 kg. for this reason is evident, that all the parameters are found into the permissible values. For the optimization of the Treatment Plant of drinking water, Decentralized Autonomous Government (GAD) Municipal of Baños Canton must dose correctly the clotting in the coagulation stage and the chloride gas in the chlorination stage, to enhance the efficiency of the plant and provide to the habitants safe drinking water.

INTRODUCCIÓN

El agua como recurso más importante y necesario para el ser humano, tiene que ser de óptima calidad teniendo procesos oportunos con eficiencias óptimas para el uso y consumo del hombre y la comunidad en general, por lo que la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón Baños de Agua Santa, se encarga de potabilizar el agua proveniente del sector El Cristal, perteneciente al Caserío de Vizcaya.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Baños de Agua Santa preocupado por mejorar la calidad del agua y mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento, me permitió realizar la investigación para mejorar el Sistema de Tratamiento de esta Planta.

Tratando de brindar agua de calidad, basándonos en la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión, existe algunas inquietudes en base a ciertos procesos y parámetros que realizando comparaciones con la Norma mencionada anteriormente se encuentran fuera de los límites permisibles, centrándonos en la etapa de coagulación con la dosificación del agente coagulante y en la etapa de desinfección; por lo que este trabajo de tesis esta encaminado en el mejoramiento y optimización de la Planta de Tratamiento para brindar a los habitantes del Cantón Baños agua de calidad.

Una vez realizadas las caracterizaciones para cada parámetro, se plantea soluciones adecuadas como es el caso de la dosificación de agente coagulante en época invernal como en época de verano para una mejor calidad del agua a favor de la población.

ANTECEDENTES

El Cantón Baños perteneciente a la Provincia de Tungurahua situado en los flancos externos de la cordillera oriental de los Andes, en las faldas del volcán Tungurahua, a una altitud de 1820 msnm. Se encuentra a 40 km al este de Ambato, en la provincia de Tungurahua tiene una gran riqueza hidrológica, con algunos ríos en sus cercanías, como el río Bascún (al oeste), el río Ulba (al oriente de la ciudad) y principalmente, el río Pastaza que limita la ciudad al sur. Los parques nacionales Sangay y Llanganates están ubicados en los flancos del cantón. Tiene una densidad poblacional aproximadamente de 20.000 habitantes y cuenta con una extensión de 1.065 Km².

Los encargados de la potabilización y abastecimiento de agua a todo el Cantón es el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Baños de Agua Santa representado por el Ing. Marlon Guevara, Alcalde del mismo, siendo los encargados de proporcionar a la población servicios básicos de agua potable y alcantarillado de manera eficaz y responsable, de esta manera garantizando el bienestar de toda la comunidad, mejorando su calidad y estándares de vida.

La Planta de Tratamiento de Agua del Cantón Baños se abastece del líquido vital del sector El Cristal, perteneciente al Caserío de Vizcaya proveniente del Rio Cristal, por medio de tuberías PVC, llegando así hasta la planta de tratamiento de agua potable ubicado en el Caserío San Pablo.

El estudio para la construcción fue realizado por la Empresa “HIDROPLAN” a cargo del Ing. Luis Burbano en el año 2000, inmediatamente se realizaron los estudios de campo y se procedió a la construcción del mismo; obra designada al Ing. German Vega ingeniero encargado de la obra.

El sistema de Tratamiento de Agua del Cantón Baños consta de cuatro etapas; la primera es la etapa de captación del agua donde se realiza un tratamiento previo al agua y se eliminara materia orgánica de gran tamaño, la siguiente etapa es la de la coagulación donde se emplean coagulantes cuya función es desestabilizar eléctricamente los coloides, la

tercera etapa es de la filtración donde se encuentra arena gruesa y arena fina, la última etapa es la de cloración o desinfección. Terminando esta etapa el agua se la lleva a tanques de almacenamiento y posteriormente a la distribución al cantón.

JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural que posee un conjunto de propiedades y características que la vuelven única, por lo que es indispensable conservar este recurso no renovable dándole un tratamiento adecuado para cumplir con los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos prescritos en la Norma para el Agua Potable NTE INEN 1 108.

Muchas de nuestras poblaciones se ven obligadas a beber agua de fuente cuya calidad deja mucho que desear y produce un sinnúmero de enfermedades en niños y adultos; generalmente estas fuentes hídricas subterráneas generan agua con diferentes tipos de impurezas y parámetros con valores fuera de norma, como es el caso de la Planta de Tratamiento de Agua del Cantón Baños de Agua Santa.

Por lo tanto es necesario realizar el proceso de Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en los filtros, en la dosificación de coagulante y en la dosificación de cloro, garantizando de esta manera a los pobladores del Cantón Baños agua apta para el consumo humano que cumpla con los requisitos prescritos en la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión.

OBJETIVOS

GENERAL

- Optimizar la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón Baños de Agua Santa.

ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del sistema de tratamiento de agua de la planta.
- Realizar las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del tratamiento actual de la planta.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de la Norma INEN correspondiente.
- Plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta sustentado en el estudio técnico y económico.
- Validar el sistema de tratamiento propuesto.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1. AGUA

El agua o hidruro de oxígeno es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, esencial para la vida animal y vegetal, solvente universal compuesto molarmente por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. En la práctica llamamos agua a las soluciones y suspensiones acuosas de sustancias orgánicas e inorgánicas como las que constituyen la lluvia, el mar, los lagos y los ríos.¹

1.1. Calidad del Agua

En vista de la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de “*calidad del agua*”. Además, los conocimientos sobre calidad del agua han evolucionado a través del tiempo a medida que ha aumentado su demanda en diferentes usos y han mejorado los métodos para analizar e interpretar sus características.

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: *i)* una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y *ii)* la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo del agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo del agua.

¹ ROMERO, J. 2009. Calidad del agua. Bogotá-Colombia. pp. 37.

La contaminación de un ambiente acuático significa la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas como natación, buceo, canotaje, pesca, etc., e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, etc.

La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas:

- Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos).
- Utilizando un índice de calidad del agua.

Ambas formas son aceptadas y las mediciones que se requieren se realizan, ya sea en el campo o en el laboratorio, y producen varios tipos de datos que luego es necesario interpretar.

Antes de discutir las propiedades y características del agua, por aspectos pedagógicos, se dice que se puede analizar la calidad del agua de acuerdo con su estado; para ello se hace distinción entre agua cruda (superficial, subterránea, marina, etc.), aguas residuales y agua tratada (potable).

1.2. Agua cruda o en estado natural (Sin tratamiento)

El término agua cruda se refiere al agua que se encuentra en el ambiente (lluvia, superficial, subterránea, océanos, etc.), que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado normal. Entendiendo por fuente el recurso hídrico del cual una comunidad se abastece de agua, se puede afirmar que la calidad del agua que se encuentra en forma natural depende de la posición geográfica, origen (mar, subterránea superficial) y hábitos de los pobladores.

Las fuentes principales de abastecimiento de agua en nuestro medio son las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

1.3. Aguas residuales

Se define agua residual como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales (recolección y tratamiento).

Generalmente las aguas residuales se pueden agrupar en aguas residuales domésticas, industriales (caracterizadas o medidas y no medidas) y comerciales.

1.4. Agua tratada (Agua potable)

Se entiende por agua tratada aquella a la cual se le han variado o cambiado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de utilizarla en algún uso benéfico. La calidad del agua tratada depende del uso que se le vaya a asignar o a dar.

Por ejemplo, la calidad del agua para consumo humano o la utilizable para riego tienen una calidad diferente a la calidad de la agua requerida por un determinado sector industrial.²

1.5. NORMA 1108:2006. Requisitos del agua potable

El Agua Potable debe de cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable

² SIERRA, C. 2011. Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico. Medellín-Colombia. pp. 47.

Sabor	---	no objetable
pH	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
<i>Inorgánicos</i>		
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Cloruros, Cl	mg/l	250
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0,01
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cromo, Cr	mg/l	0,05
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cianuros, CN	mg/l	0,07
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Selenio, Se	mg/l	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0,3 – 1,5 ¹⁾
Aluminio	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07

Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	µg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5
Radiación total α^*	Bg/l	0,1
Radiación total β^{**}	Bg/l	1,0
¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos. * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰ Po, ²²⁴ Ra, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²³⁹ Pu. ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰ Co, ⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ²¹⁰ Pb, ²²⁸ Ra.		

Sustancias Orgánicas

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido
Alcanos clorinados		
tetracloruro de carbono		2
Diclorometano		20
1,2 dicloetano	µg/l	30
1,1,1 – tricloetano		2 000
Etanos clorinados		
Cloruro de vinilo		5
1,1 dicloroeteno		30
1,2 dicloroeteno		50
tricloroeteno	µg/l	70
Tetracloroeteno		40
Hidrocarburos Aromáticos		

Benceno		10
Tolueno	μg/l	170
Xileno		500
Etilbenceno		200
Estireno		20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	μg/l	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
benzo (a)pireno		0,01
benzo (a)fluoranteno		0,03
benzo (k)Fluoranteno		0,03
benzo (ghi)pirileno	μg/l	0,03
indeno (1,2,3-cd)pireno		0,03
Bencenos clorinados		
monoclorobenceno		300
1,2-diclorobenceno		1 000
1,3-diclorobenceno		
1,4-diclorobenceno	μg/l	300
triclorobenceno (total)		20
di(2-etilhexil)adipato	μg/l	80
di(2-etilhexil) ftalato	μg/l	8
acrylamida	μg/l	0,5
epiclorohidrin	μg/l	0,4
Hexaclorobutadieno	μg/l	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	μg/l	200
Ácido nitrotriacético	μg/l	200
Dialquil	μg/l	
Oxido tributiltin	μg/l	2

Pesticidas

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido
Alaclor	µg/l	20
Aldicarb	µg/l	10
Aldrin/dieldrin	µg/l	0,03
Atrazina	µg/l	2
Bentazona	µg/l	30
Carbofuran	µg/l	5
Clordano	µg/l	0,2
Clorotoluron	µg/l	30
Diclorodifeniltricloroetano DDT	µg/l	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	µg/l	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	µg/l	30
1,2- dicloropropano	µg/l	20
1,3-dicloropropeno	µg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide	µg/l	0,03
Hexaclorobenceno	µg/l	1
Isoproturon	µg/l	9
Lindano	µg/l	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	µg/l	2
Metoxyclo	µg/l	10
Molinato	µg/l	6
Pendimetalin	µg/l	20
Pentaclorofenol	µg/l	9
Permetrin	µg/l	20
Propanil	µg/l	20
Piridato	µg/l	100
Simazina	µg/l	2
Trifluralin	µg/l	20

Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	µg/l	90
Dicloroprop	µg/l	100
Fenoprop	µg/l	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	µg/l	2
Mecoprop	µg/l	10
2,4,5-T	µg/l	9

Residuos de Desinfección

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido
Monocloramina, di y tricloramina	µg/l	3
Cloro	µg/l	5

Subproducto de Desinfección

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido
Bromato	µg/l	25
Clorito	µg/l	200
Clorofenoles 2,4,6-triclorofenol	µg/l	200
Formaldehído	µg/l	900
Trihalometanos Bromoformo diclorometano bromodiclorometano cloroformo	µg/l	100 100 60 200
Ácidos acéticos clorinados ácido dicloroacético ácido tricloroacético	µg/l	50 100

Hidrato clorado Tricloroacetaldeido	$\mu\text{g/l}$	10
Acetonitrilos Halogenados Dicloroacetonitrilo Dibromoacetonitrilo Tricloroacetonitrilo	$\mu\text{g/l}$	90 100 1
Cianógeno clorado (como CN)	$\mu\text{g/l}$	70

Requisitos Microbiológicos

Parámetros	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes//100 litros	Ausencia
GiardiaLambliia número de quistes/100 litros	Ausencia
<p>* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo</p> <p>(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.</p>	

1.6. Ciclo hidrológico

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo. La humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es precipitada a su vez en forma de lluvia, nieve y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y parte cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra parte corre hacia los océanos por conducto de corrientes de agua y lagos y el resto penetra en la tierra. El almacenamiento de agua para suministro se realiza mediante la intercepción de corrientes de superficie o por la captación del agua que se ha infiltrado en la tierra.

Las condiciones hidrológicas relacionadas con la lluvia, con las corrientes de agua y con la infiltración, son factores de mucha importancia en la formación de depósitos de aguas de abastecimiento y en la purificación de estas aguas. Las variaciones de estos factores afectan no solo la cantidad de agua aprovechable, sino también su calidad.

Para la comodidad, las fuentes aprovechables de agua en el ciclo hidrológico pueden clasificarse como sigue:

1. Lluvia y nieve
2. Agua de superficie
 - a) Corrientes de aguas
 - b) Lagunas y lagos naturales
 - c) Embalses
3. Aguas subterráneas
 - a) Manantiales
 - b) Pozos poco profundos y galerías de infiltración
 - c) Pozos profundos.

1.7. Clasificación de los cuerpos de agua

Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmosfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico.

1.7.1. Lluvia

El vapor de agua condensado en nubes o precipitado en forma de lluvia es prácticamente puro en altitudes muy grandes. A medida q cae la lluvia absorbe oxígeno, dióxido de carbono y otros gases del aire, así como polvo, humos y vapores. La lluvia recoge también las bacterias y las esporas vegetales que se encuentran en el aire.

En general, la cantidad de esas impurezas es pequeña; mayor al principio de la precipitación y menor al final.

1.7.2. Agua de superficie.

Cuando la lluvia cae sobre la tierra, una parte corre al océano, a las corrientes de agua, lagunas o lagos. La calidad del agua tomada de una fuente de superficie depende del carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de la extensión y naturaleza del desarrollo realizado por el hombre, de la época del año y de las condiciones del tiempo.³

1.7.3. Ríos.

Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje.

1.7.4. Lagos.

En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación.⁴

³ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 2011. Agua su Calidad y Tratamiento. Medellín-Colombia. pp. 47.

⁴ SIERRA, C. 2011. Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico. Medellín-Colombia. pp. 27.

1.7.5. Agua subterránea.

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se filtra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas.

Aunque las bacterias y otros organismos vivientes en la superficie de la tierra pueden ser recogidos primero por la lluvia que cae sobre ellos, la filtración en el subsuelo da por resultado la separación de estos organismos. Hay una excepción cuando cerca de la superficie las rocas están agrietadas, como ocurre con la piedra caliza. En este caso, la contaminación de superficie puede ser llevada a grandes distancias sin variación importante.⁵

Existe otro tipo de cuerpos de agua de carácter transitorio que están caracterizados por su variabilidad hidrodinámica. Entre ellos, los más importantes son:

- Embalses. Se pueden considerar cuerpos de agua intermedios entre lagos y ríos y se caracterizan porque su hidrodinámica y calidad de agua dependen de las reglas de operación.
- Ciénagas. Son ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre lago y un acuífero freático.
- Estuarios. Son sistemas acuáticos intermedios entre río y mar.

1.8. Importancia del recurso agua

El agua es un elemento esencial para la vida, sin ella el hombre no podría existir. Toda población o comunidad ha buscado asentamiento cerca a una fuente de agua. Las fuentes de agua aunque disponibles en mayor o menor cantidad, han sido contaminadas gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la

⁵ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 2011. Agua su Calidad y Tratamiento. Medellín-Colombia. pp. 47.

Antigüedad. El hombre tardó bastante tiempo en darse cuenta de que el agua que estaba consumiendo era la causante de muchas de las enfermedades que estaba padeciendo y solo a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX empezó a implementar procesos para tratar y desinfectar el agua que consumía.

Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población. Por esta razón, la calidad del agua es la rama de la Ingeniería q pretende:

- Diagnosticar los problemas relacionados con la calidad del agua.
- Relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos deseables del agua.
- Juzgar que variables de calidad dl agua se necesita controlar y los medios o recursos disponibles para hacerlo.⁶

1.9. Propiedades del agua

El agua, considerada como una sustancia químicamente pura, solamente existe en el laboratorio. En la naturaleza el agua entra en contacto con el suelo, la atmosfera y adquiere elementos o sustancias (a través de vertimientos) que alteran su composición original.

El agua, cualquiera que sea su estado, está caracterizada por ciertas propiedades que la distinguen de los demás líquidos y su calidad se determina analizando en el laboratorio varios parámetros físicos, químicos y biológicos.

A aquellas características que posee el agua, ya sea que se encuentre contaminada o no, se les conoce como propiedades del agua. Las propiedades son características que distinguen al agua de los demás líquidos. A continuación se describen, las principales propiedades del agua:

⁶ SIERRA, C. 2011. Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico. Medellín-Colombia. pp. 28.

1.9.1. Densidad

La densidad se mide como masa por unidad de volumen. El agua tiene su máxima densidad a 4°C y disminuye a partir de allí con la temperatura, lo que hace que la densidad del hielo sea inferior a la del agua líquida y, por lo tanto, flote en ella. Esta aparente anomalía se debe a la forma de la estructura molecular del agua. La densidad se expresa en tres formas distintas:

- a) Masa por unidad de volumen, δ (g/cm³)
- b) Peso específico, γ , o fuerza por unidad de volumen (g/m²/s²)
- c) Gravedad específica, $s = \delta / \delta_0$ o γ / γ_0 . El subíndice cero denota la densidad a una temperatura estándar o de referencia.

La densidad y el peso específico del agua a diferentes temperaturas se encuentran en tablas que se pueden consultar en los diferentes libros de referencia. La densidad es importante en la ingeniería del agua debido a que interviene en el cálculo del número de Reynolds (régimen de flujo), y en prácticamente todos los procesos de tratamiento del agua, por ejemplo, la sedimentación y la filtración.

1.9.2. Viscosidad

La viscosidad se puede definir en términos prácticos como la resistencia que presenta el agua a la deformación, y por ello, es análoga a fricción interna. La viscosidad del agua se expresa en una de las dos formas siguientes:

- a) Viscosidad absoluta o dinámica, μ , o masa por unidad de longitud y tiempo (poise = newton*s / m²)
- b) Viscosidad cinemática $\nu = \mu / \delta$, o longitud elevada al cuadrado por unidad de tiempo (Stokes = m² / s)

En el agua, la viscosidad disminuye regularmente con la temperatura. La viscosidad cambia más rápidamente que la densidad y por esto afecta notablemente todos los procesos de tratamiento de agua.

1.9.3. Calor específico (CE)

Es la cantidad de calor necesario para elevar 1°C la temperatura de un gramo de agua. En la mayoría de los líquidos el calor específico aumenta con la temperatura, pero en el agua tiene su mínimo a 35°C , y este valor es mucho más elevado que en compuestos tales como el alcohol, el benceno, etc., que tienen valores de CE de 0,4 a 0,6. En otras palabras, se necesita una gran cantidad de calor para poder elevar la temperatura del agua, lo que hace muy costoso los procesos de tratamiento de agua como la destilación.

1.9.4. Tensión superficial

Entre las moléculas de un líquido se presentan fuerzas naturales de atracción internas denominadas fuerzas de Van der Waals. En el agua, las moléculas de la capa superficial están, por una parte, atraídas entre sí, y por otra parte, atraídas por las moléculas de las capas inferiores formándose en la superficie como una película que es difícil de romper.

Es por esto que muchos elementos más densos que el agua flotan en ella. La energía necesaria para romper la capa por unidad de área es a lo que se le conoce como tensión superficial.

La tensión superficial causa la elevación del agua en los tubos capilares, la forma esférica de las gotas de agua o de las pompas de jabón, las aparentes atracciones o repulsiones que se observan en los cuerpos pequeños que flotan en la superficie de un líquido, la forma redondeada de los meniscos, etc.

1.10. Parámetros físicos, químicos y biológicos

Para saber que tan pura o que tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Como se puede intuir existen muchos parámetros, muchas formas y varios métodos para medir dichos parámetros.

1.10.1. Parámetros físicos

Se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

1.10.1.1. Turbiedad.

Se conoce como turbiedad a la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. La turbiedad es producida por una gran variedad de causas. Entre ellas las más importantes pueden ser:

- La erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos.
- La contaminación causada por la industria o por desechos domésticos.

Como se puede apreciar, la turbiedad tiene desde un origen inorgánico (arcillas, arena, etc.) como es el caso de la turbiedad aportada por la erosión, hasta tener un alto grado de material orgánico (microorganismos, limus, etc.) como en el caso de la turbiedad aportada por actividades antrópicas.

La turbiedad es importante en el tratamiento del agua potable por las siguientes razones:

- *Estética.* La presencia de turbiedad en el agua causa rechazo en el consumidor. Además, existen ciertos procesos industriales (fabricación de textiles, alimentos) que requieren agua exenta de turbiedad.
- *Selección de los procesos de tratamiento.* La turbiedad es un parámetro fundamental en la determinación de los procesos más adecuados para tratar el agua de abastecimiento. Procesos como coagulación, sedimentación y filtración se diseñan y operan teniendo en cuenta el valor de la turbiedad.
- *Filtración y cloración del agua.* La turbiedad puede incidir en la eficiencia de determinados procesos de tratamiento de agua, por ejemplo, la filtración y la desinfección. La filtración del agua se vuelve más difícil y costosa cuando la turbiedad es alta; la turbiedad obstruye los filtros, genera problemas de operación en el tratamiento del agua y ocasiona un aumento en la frecuencia de lavado de las unidades. Cuando la turbiedad es alta se necesitan dosis mayores de cloro para desinfectar el agua. Esto debido a que los microorganismos se ocultan entre las partículas de turbiedad por lo que se requieren mayores cantidades de cloro para eliminarlos.

Debido a que el turbidímetro de Jackson es un instrumento rudimentario y ante el auge de la instrumentación electrónica, en la actualidad, la turbiedad se mide con turbidímetros basados en principios nefelométricos. Cuando la turbiedad se mide con estos instrumentos, los resultados se dan en UNT.

1.10.1.2. Color.

Aunque está íntimamente ligado a la turbiedad, el color en el agua puede considerarse como una característica independiente. Mientras que la turbiedad se considera ocasionada por partículas de gran tamaño (diámetros $> 10^{-3}$ mm), el color se considera generado por sustancias disueltas y por los coloides.

Existe aun discrepancia entre los investigadores en cuanto a las causas que originan el color. El origen mas aceptado es el que el color es producido, a excepción del ocasionado

por las descargas industriales, por la descomposición natural de la materia vegetal de las plantas y por la disolución de ciertos minerales (especialmente hierro y manganeso) presentes en el subsuelo.

El color está clasificado como color *aparente* y color *verdadero*. Color aparente se considera al producido por el material suspendido mientras que el color verdadero es el que permanece en el agua después de remover la turbiedad.

El color se expresa en unidades de color (UC). La unidad de color es la que se obtiene agregando 1 mg de cloroplatinato de potasio en 1 litro de agua destilada. El color se mide en el laboratorio utilizando los colorímetros.

1.10.1.3. Visibilidad.

Se entiende por visibilidad la interferencia que producen los materiales suspendidos en el agua al paso de la luz. Se mide con el disco de Secchi y se reporta en unidades de longitud. Este parámetro realmente representa la profundidad de la zona fótica, es decir, la zona hasta donde penetra la luz en el agua y puede realizarse fotosíntesis.

1.10.1.4. Olor y sabor.

Se mencionan en conjunto por estar íntimamente ligadas. Los olores y sabores en el agua están asociados con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor. Los olores y sabores objetables se pueden deber a la presencia de plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica.

Especialmente la sustancia que produce olores en la descomposición de la materia orgánica es el H_2S . No existen instrumentos para determinar los olores y sabores en el agua; generalmente estos se reportan en los análisis de aguas como presentes y no presentes.

1.10.1.5. *Temperatura.*

La temperatura es tal vez el parámetro físico más importante del agua. Además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc.).

En nuestro medio, el agua se entrega a los consumidores con la temperatura que se encuentra en la fuente. Solamente en algunos procesos industriales es necesario entregar el agua a una determinada temperatura. Si se requiere a una temperatura mayor se calienta en las calderas y si se quiere rebajar se utilizan torres de enfriamiento.

1.10.1.6. *Sólidos.*

Para dar un diagnóstico acerca de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material sólido que contiene la muestra. El primer tipo de sólidos de importancia para determinar la calidad del agua son los *sólidos totales* (ST). Los ST se definen como todo el material que queda después de evaporar el agua a 105°C, es decir, ST es todo aquello presente en la muestra, excepto agua.

Los *sólidos sedimentables* se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml / L.

Los sólidos totales se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos. La cantidad y naturaleza de los sólidos presentes en el agua varía ampliamente. En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases.

Los *sólidos disueltos* se calculan pasando la muestra por un papel de filtro y luego determinando los sólidos totales del filtrado. Si se somete la muestra filtrada a evaporación en una mufla a aproximadamente 600°C y se pesa el residuo se obtienen los sólidos disueltos fijos (SDF). Por diferencia se determinan los sólidos disueltos volátiles (SDV).

Los *sólidos suspendidos* (SS) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS son, tal vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.10.2. Parámetros químicos.

Los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases:

- Indicadores (pH, acidez, alcalinidad).
- Sustancias químicas.

1.10.2.1. Indicadores.

Se definen como indicadores, los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias.

1.10.2.1.1. pH

El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención está definido como:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. La escala de valores de pH se asemeja a la de un termómetro. Mientras que la escala de un termómetro mide intensidad de calor, el pH mide la intensidad de la acidez o basicidad.

Es importante decir que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad pero no determina el valor de la acidez ni de la alcalinidad.

1.10.2.1.2. Conductividad

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos / cm o Siemens / cm. Las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

1.10.2.1.3. Acidez

Generalmente se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO₂ o la presencia de un ácido fuerte (H₂SO₄, HNO₃, HCl).

Se conoce con el nombre de acidez mineral a la ocasionada por la presencia en el agua de ácidos fuertes. Este tipo de acidez se presenta en el agua debido a la contaminación industrial. Desechos de la industria metalúrgica y la fabricación de ácidos a escala industrial son los causantes de la acidez mineral en el agua. Sin embargo, hay casos en que aguas naturales tienen acidez mineral, por ejemplo, aguas que nacen o pasan por zonas mineras.

La acidez ocasionada por el CO₂ no tiene efectos conocidos sobre la salud; bebidas como la soda mineral contienen altas concentración de CO₂ y no se les conoce ningún efecto dañino sobre la salud. En cuanto a la acidez mineral, las aguas que las contienen presentan un sabor tan desagradable que el consumidor las rechaza de inmediato.

Las aguas que contienen acidez, sin importar el tipo, son corrosivas. Por lo tanto, aguas con acidez por encima de los valores permisibles deben ser tratadas. La acidez se determina en el laboratorio por medio de un análisis químico llamado titulación (método de la fenolftaleína). Los resultados se expresan en mg / L como CaCO₃.

1.10.2.1.4. Alcalinidad

La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes.

La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones $[\text{OH}^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$. En las aguas naturales la alcalinidad se debe a la presencia de iones $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$ los cuales ingresan al agua debido a la acción del CO_2 sobre los materiales naturales del suelo.

La alcalinidad también puede ser ocasionada por la presencia de bases fuertes en el agua. Estas bases llegan al agua, debido principalmente a la contaminación industrial. Por ejemplo, la soda caustica (NaOH) es una base fuerte que la industria del papel vierte comúnmente a los ríos.

La alcalinidad es importante en la calidad del agua por diferentes razones:

- En altas concentraciones le comunica un sabor desagradable al agua.
- En presencia de iones de Ca o Mg (dureza) forma precipitados que ocasionan problemas de taponamiento y obstaculizan el flujo en las tuberías.
- Tal vez la más importante razón es que la alcalinidad controla el proceso de coagulación en el tratamiento de agua potable, y la digestión anaeróbica en el caso del tratamiento del agua residual.

Al igual que la acidez, la alcalinidad se mide en el laboratorio por titulación y los resultados se expresan en mg /L de CaCO_3 .

1.10.2.1.5. Dureza

Se denomina dureza a la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos y las tuberías. Por ejemplo, cuando el agua que alimenta una caldera es dura se

forman incrustaciones que llegan a taponarla y en muchos casos han llegado hasta a hacerla explotar.

Las aguas duras, fuera de las molestias ocasionadas con el jabón, no presentan ningún problema sanitario. Sin embargo, si van a ser utilizadas en la industria, deben ser tratadas. El proceso que se utiliza para remover la dureza se llama ablandamiento o suavización.

1.10.3. Características biológicas.

Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Los microorganismos en el agua pueden ser patógenos y no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedades a los seres vivos mientras que por no patógenos se entiende lo contrario. Los microorganismos mas importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos.⁷

1.11. Procesos del tratamiento del agua

La selección del proceso de tratamiento del agua es una tarea complicada. Las circunstancias son diferentes para cada instalación del agua y quizás distintas para cada fuente o procedencia usada para la instalación.

La selección de uno o más procesos a utilizar en determinadas situación está influida por la necesidad de cumplir los objetivos de calidad reglamentaria, el deseo de la instalación y de sus clientes de cumplir los objetivos de calidad del agua como los de aspecto o estética y la necesidad de proporcionar el servicio del agua a bajo costo.

Los factores que deberían estar incluidos en las decisiones de los procesos de tratamiento del agua comprenden:

⁷ SIERRA, C. 2011. Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico. Medellín-Colombia. pp. 52-78.

- Renovación de contaminantes.
- Calidad de la fuente original del agua.
- Fiabilidad.
- Condiciones existentes.
- Flexibilidad del proceso.
- Capacidades de la instalación.
- Costes.
- Compatibilidad ambiental.
- Calidad del sistema de distribución de agua.
- Realización del proceso a escala.

1.12. Tratamiento de agua

1.12.1. Captación

El agua para potabilizar puede obtenerse de fuentes superficiales o fuentes subterráneas. Se capta el agua, en ella se encuentra un sistema de rejillas y compuertas que retienen los materiales de gran tamaño para evitar que entren al acueducto o canal abierto que conduce el agua hacia el establecimiento potabilizador. En todos los casos el agua es bombeada desde la fuente captación hacia la planta de potabilización.

1.12.2. Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado.

Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas.

1.12.2.1. Factores que influyen en la coagulación

Para aguas turbias y coloreadas influyen varios factores entre los cuales podemos nombrar

- Tipo de coagulante
- Cantidad de coagulante
- Cantidad y carácter del color y turbiedad
- Caracteres químicos del agua
- Concentración de iones de hidrogeno del agua
- Tiempo de mezcla y de floculación
- Temperatura del agua

Es sabido, por ejemplo, que el empleo de la cantidad mínima de coagulante que probó ser eficaz para producir una buena floculación en el agua dada, requerirá generalmente un periodo de mezcla bastante largo, que puede variar de quince a treinta minutos en verano y de treinta a sesenta en los meses más fríos, a medida que las temperaturas del agua se aproximan a su punto de congelación. También se sabe que la adición de coagulantes en demasía del mínimo determinado apresura la floculación y aumenta la eficiencia bactericida. Por lo tanto, a veces se emplea un exceso de coagulante para reducir la cantidad de cloro requerido para la desinfección. Sin embargo, donde no existe el peligro del sabor indeseable de cloro, es generalmente más económico usar la cantidad mínima de coagulante y atenerse al cloro para hacer el agua bacteriológicamente segura.⁸

⁸ COLON, J. Agua su Calidad y Tratamiento. México D.F.-México. pp. 145.

1.12.2.2. Valor de pH óptimo para la coagulación

Existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en plazos cortos de tiempo con dosis adecuadas de coagulantes o en un tiempo determinado con dosis mínimas de coagulantes; la coagulación deberá efectuarse dentro de la zona óptima, para aguas que poseen escaso color esto no es difícil.

1.12.2.3. Mezcla

La mezcla es la fase de la coagulación donde el coagulante se disipa en el agua, generalmente por agitación rápida dando como secuela la aparición de partículas subvisuales en suspensión.

En esta etapa se producen tres reacciones químicas:

- La primera detallada por Miller es la neutralización de las cargas negativas de las impurezas con el ión coagulante trivalente.
- La segunda es la reacción del coagulante con la alcalinidad del agua y la formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva, los cuales son atraídos por las impurezas coloidales de carga negativa.
- Finalmente la tercera reacción que se produce es la adsorción superficial de impurezas por los flóculos que resultan de cualquiera de las dos primeras reacciones.

Los tiempos que se necesitan para la culminación de las tres reacciones se determina por la concentración de coagulante que se emplea, si se utiliza grandes concentraciones de coagulantes se tendrá tiempos cortos de reacción ya que los iones reactivos están cerca uno del otro teniendo como resultado una movilidad relativamente corta.

Sin embargo en plantas de tratamiento de aguas donde existe gran dilución los tiempos de reacción en teoría son relativamente altos por lo que para acelerar este proceso se necesitara tanques de mezcla.

1.12.3. Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

Podemos definir a la floculación además como la aglomeración de partículas coagulantes en partículas floculantes, la floculación y por ende la colisión entre partículas para formar los flóculos se ve influenciada por fuerzas químicas y físicas como son la carga eléctrica de las partículas, el tamaño de las partículas en suspensión, la concentración del floc, la temperatura del agua, pH.

Para partículas pequeñas se da un transporte entre partículas lo cual facilita la floculación pericinética, mientras que para partículas de mayor tamaño se tendrá menor participación de las velocidades por lo que se necesitara fuerzas externas que agiliten la etapa de floculación.

Suceden que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo que suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

1.12.3.1. Tipos de Floculadores

Floculadores Hidráulicos son de flujo horizontal y flujo vertical, los primeros son tanques de concreto divididos por tabiques o planchas de concreto con la finalidad que el agua realice un recorrido de ida y vuelta a los alrededores de los extremos libres de los tabiques; mientras que un floculador vertical el flujo de agua es de arriba hacia abajo con un recorrido por encima y por debajo.

Los floculadores hidráulicos de flujo horizontal generalmente son usados en plantas pequeñas de caudal menor a 50 L/s; los floculadores verticales para plantas grandes se construyen a 2-3 m de profundidad. Las ventajas de usar floculadores hidráulicos sobre los mecánicos se basa en el poco mantenimiento debido a la falta de equipos mecánicos, mientras que la desventaja de este tipo de floculadores es la alta pérdida de carga entre 30-150 cm y su poca falta de flexibilidad de control.

Floculadores mecánicos en este tipo de floculadores se asegura una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos siendo el más utilizado el agitador de paletas ya sea de eje horizontal o vertical dando un movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna, además existen impulsores de turbina y flujo axial; la velocidad es variable dentro del equipo debido a la calidad de agua a tratar.

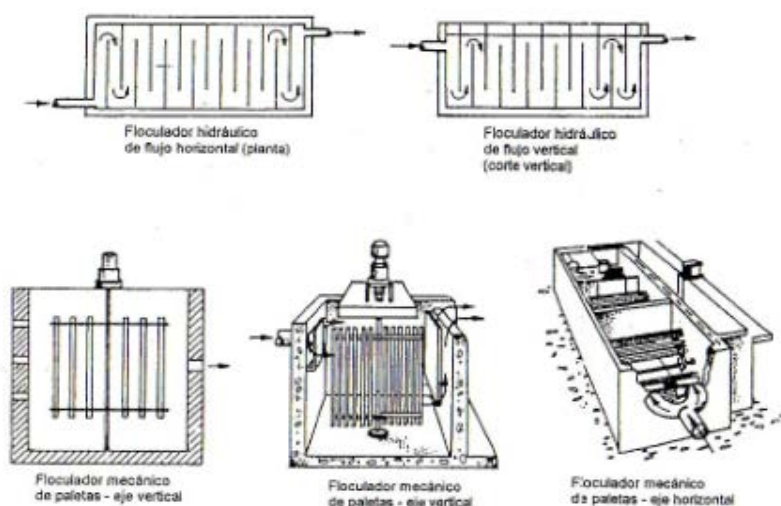


Ilustración 1-1 Tipos de Floculadores
Fuente: ROMERO, J. 2006.

1.12.3.2. *Parámetros para la optimización*

Primero calcularemos el área en función de la altura del canal:

$$A = L \times Hu$$

Dónde:

L: Largo

Hu: Altura canal

La velocidad de flujo se la calculara mediante la ecuación:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

Q: Caudal

A: Área

La longitud de los canales estará calculada mediante:

$$L_c = v \times T \times 60$$

Dónde:

T: Tiempo de retención

v: Velocidad del fluido

La longitud del floculador viene dado por:

$$L_f = (N_c \times a) + (N_c - 1) e$$

Dónde:

N_c: Número de canales

a: Ancho de los canales de floculación

e: Espesor de las láminas

El perímetro mojado de cada sección del floculador será determinado por medio de la ecuación:

$$P = 2Hu + a$$

Dónde:

H_u: Altura de la unidad

a: Ancho de los canales de floculación

Para determinar el área de cada sección de los canales de floculación se tomara en cuenta tanto el largo del canal así como el ancho de cada canal de floculación calculándolo por medio de la siguiente ecuación:

$$A_c = l \times a$$

Dónde:

l: Largo del canal

a: Ancho

El radio medio hidráulico lo determinaremos por medio de la ecuación:

$$r = \frac{Ac}{P}$$

Dónde:

Ac: Área de los canales del floculador

P: Perímetro mojado de las secciones

La Pérdida de carga continúa en los canales se la determinara por medio de la siguiente ecuación y en función del coeficiente de Manning obtenido por medio de la tabla presentada a continuación:

$$h_f = \left[\frac{(n \times v)^2}{r^{4/3}} \right] * L_c$$

Dónde:

v: Velocidad del fluido

n: Coeficiente de Manning: 0.011 (Tabla 1)

r: radio medio hidráulico

Lc: Longitud de canales

TABLA 1-1 COEFICIENTE DE MANNING

Material	Coeficiente de Manning	Coeficiente de Rugosidad Absoluta (mm)
Asbesto cemento	0.011	0.002
Latón	0.011	0.002
Fierro fundido (nuevo)	0.012	0.600
Concreto (cimbra metálica)	0.011	0.260
Concreto (cimbra madera)	0.015	0.180
Concreto simple	0.013	0.600
Cobre	0.011	0.002
Acero corrugado	0.022	45.000
Acero galvanizado	0.016	0.150
Plomo	0.011	0.002
Platico (PVC)	0.090	0.002
Madera (duelas)	0.012	0.180
Vidrio (laboratorio)	0.011	0.002

Fuente: Aplicaciones de computación en Ingeniería Hidráulica. Haestad Methods. 1992.

Mientras que la pérdida continúa por vueltas vendrá dada por la ecuación:

$$h = \frac{K(N_c - 1)v^2}{2g}$$

Dónde:

K: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas

v: Velocidad del fluido

Nc: Número de canales

g: Aceleración de la gravedad: 9.8 m/s^2 .

La pérdida total de carga se calculara en el último tramo del sistema de floculación

$$H = h_f + h$$

Dónde:

h_f : pérdida de la carga en los canales

H: Pérdida de carga en las vueltas

El gradiente de velocidad tendrá relación con las pérdidas totales de carga así como con la relación peso específico y viscosidad absoluta a una temperatura de 15°C obtenidos de la siguiente tabla:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \sqrt{\frac{H}{T}}$$

Dónde:

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta

H: Pérdida de carga total

T: Tiempo de retención: 30 min.

G: Gradiente de velocidad, (s⁻¹).

TABLA 1-2 RELACIÓN TEMPERATURA Y RELACIÓN PESO ESPECÍFICO Y VISCOSIDAD ABSOLUTA

Temperatura (°C)	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336.940
4	2501.560
10	2736.530
15	2920.010
20	3114.640
25	3266.960

Fuente: ROMERO, J. 2008.

1.12.4. Filtración

La filtración es un proceso por el cual el agua se separa de sustancias o materiales en suspensión haciéndola pasar por materiales filtrantes o porosos, el proceso de filtración es el resultado conjunto de acciones tanto físicas, químicas y biológicas que ocurren dentro del filtro con mayor o menor intensidad según sea la calidad del material filtrante así como el agua filtrada.

Otros factores que intervienen en la calidad del proceso de filtración son las relaciones existentes entre las variables de diseño así como los mecanismos de remoción en un filtro.

TABLA 1-3 VARIABLES PRINCIPALES DE PROCESOS DE FILTRACIÓN

Variable	Significado
1.- Características del medio filtrante:	
a) Tamaño del grano	Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga
b) Distribución granulométrica	
c) Forma, densidad y composición	
d) Carga del medio	
2.- Porosidad del lecho filtrante	Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro
3.- Profundidad del lecho filtrante	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera
4.- Tasa de filtración	Determina el área requerida y la pérdida de carga
5.- Pérdida de carga disponible	Variable de diseño
6.- Características del efluente	
a) Concentración de sólidos suspendidos	Afectan las características de remoción del filtro
b) Tamaño y distribución del floculo	
c) Resistencia del floculo	
d) Carga eléctrica del floculo	
e) Propiedades del fluido	

Fuente: ROMERO, J. 2006.

TABLA 1-4 VARIABLES PRINCIPALES DE PROCESO DE FILTRACIÓN

Mecanismo	Descripción
<p>1.- Cribado</p> <p>a) Mecánico</p> <p>b) Oportunidad de contacto</p>	<p>a) Partículas más grandes que los poros del medio son retenidas mecánicamente.</p> <p>b) Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto.</p>
2.- Sedimentación	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro.
3.- Impacto inercial	Las partículas pesadas no siguen las líneas de corriente.
4.- Interceptación	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de corriente son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio.
5.- Adhesión	Las partículas floculantes se adhieren a la superficie del medio filtrante. Debido a la fuerza de arrastre del agua, algunas son arrastradas antes de adherirse fuertemente y empujadas más profundamente dentro del filtro. A medida que el lecho se taponar, la fuerza cortante superficial aumenta hasta un límite para el cual no hay remoción adicional. Algún material se fugará a través del fondo del filtro, haciendo aparecer turbiedad en el efluente.

Fuente: ROMERO, J. 2006.

1.12.4.1. Tipos de Filtros

En el proceso de filtración podemos encontrar dos tipos de filtros considerando como material filtrante a la arena; estos filtros son de acción lenta y de acción rápida dividiéndose en filtros de superficie libre y filtros de presión.

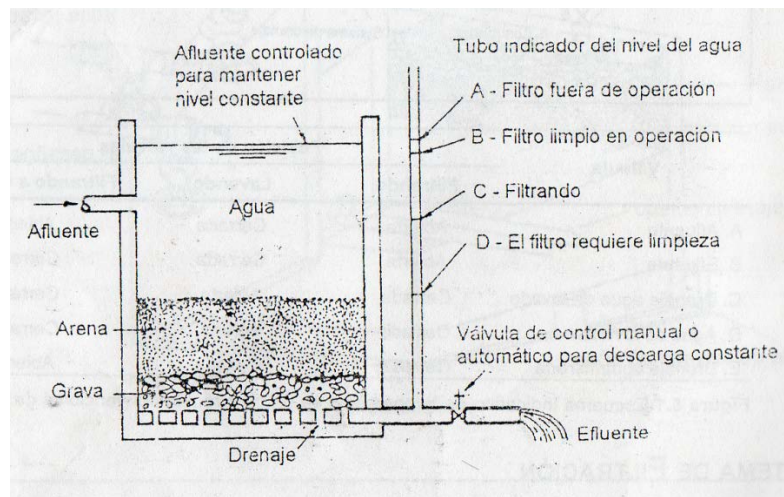


Ilustración 1-2 Filtro Lento de Arena
Fuente: ROMERO, J. 2006.

1.12.4.1.1. Filtros de acción lenta

El agua pasa por gravedad a bajas velocidades, la separación de los materiales suspendidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas sólidas a los granos de arena.

Luego de este proceso los poros de la capa arenosa quedan taponados por lo cual es necesaria su limpieza como recomendación para este tipo de acción lenta se debe dar un tratamiento previo al agua antes de hacerla pasar por este tipo de filtros.

1.12.4.1.2. Filtros de acción rápida

Es el filtro más usado en el tratamiento de aguas donde el agua desciende por gravedad a través de la arena siendo necesario un pretratamiento con coagulante para eliminar la mayor cantidad de materia en suspensión y retirarla por asentamiento.

Generalmente el lavado de este tipo de filtros se hace con un flujo en contracorriente donde el flujo generado circula el medio filtrante produciendo el frote entre los granos del mismo y desechando el material a eliminar a través de los canales de lavado.

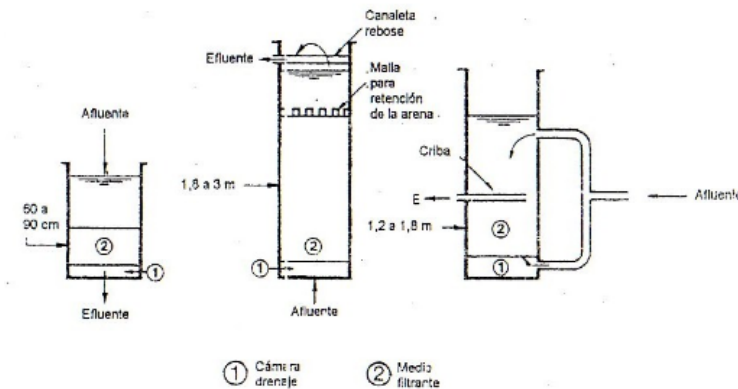


Ilustración 1-3 Tipos de Filtros
Fuente: ROMERO, J. 2006.

1.12.4.2. Sistemas de filtración

Los sistemas de filtración se los agrupa de acuerdo a distintos factores los cuales son: la dirección de flujo, tipo de lecho filtrante, fuerzas impulsoras, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

1.12.4.2.1. Dirección de flujo

De acuerdo con la dirección de flujo los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, flujo hacia arriba o flujo dual.

1.12.4.2.2. Tipo de lecho filtrante

Los filtros generalmente utilizan un solo medio ya sea antracita o más utilizado arena, una medio dual arena y antracita o un lecho mezclado arena, antracita y granate o ilmenita.

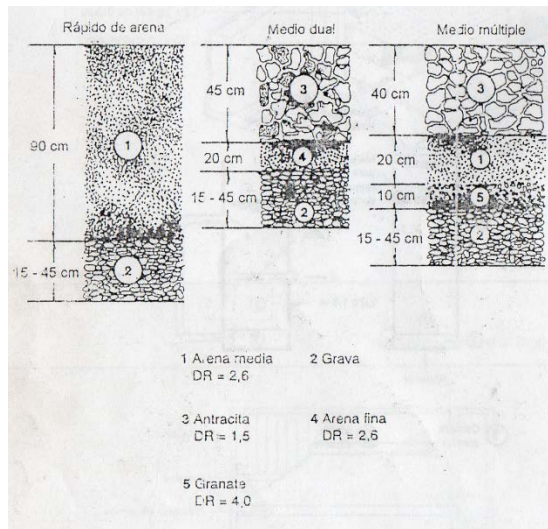


Ilustración 1-4 Medios de Filtración

Fuente: ROMERO, J. 2006.

1.12.4.2.3. Fuerza impulsora

De acuerdo a la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccionar ofrecida por le lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión.

El filtro por gravedad es el más usado en plantas de purificación de agua, en tanto que los filtros por presión se emplean principalmente en la filtración de aguas para piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.⁹

⁹ ROMERO, J. 2006. Purificación del agua, Bogotá-Colombia. pp. 142.

1.12.4.2.4. Tasa de filtración

Los primeros filtros usados en los procesos de tratamiento de aguas fueron los filtros de acción lenta de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de 0,30 m, estos filtros fueron remplazados por filtros de acción rápida de arena con lavado ascensional con tazas de filtración mayores y por tanto áreas más pequeñas.

Para la filtración rápida comúnmente se usa la arena como el medio de filtro, pero el proceso es bastante diferente a la filtración lenta en arena. Esto es debido a que se usa arena más gruesa con un tamaño efectivo de grano en la escala de 0.4-1.2 mm (120-360 μm)

TABLA 1-5 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS

Características	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Medio	Arena	Arena	Arena y Antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado de fino a grueso	Estratificado de grueso a fino
Duración de la carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Perdida de carga	Inicia 0,6m Final 1,2 m	Inicia 0,3 m Final 2,4 a 3,0 m	Inicia 0,3 m Final 2,4 a 3,0 m
Agua de lavado	No usa	2-4 % del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6-1,0 m	0,6 – 0,75 m	Antracita 0,4-0,6 m Arena 0,15- 0,3 m
Profundidad de grava	0,3 m	0,3-0,45 m	0,3-0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falso fondo	Falsos fondos

Fuente: ROMERO, J. 2006.

1.12.4.2.5. Método de Control

Al comenzar la carrera de filtración, el filtro está limpio; la fuerza impulsora requerida es mínima, pues sólo se necesita vencer la resistencia del lecho filtrante limpio y del sistema de drenaje. A medida que se efectúa la filtración, los sólidos suspendidos removidos se acumulan dentro del medio filtrante, la fuerza impulsora debe vencer la resistencia ofrecida por el lecho taponado y el sistema de drenaje.

Por tanto, si se desea mantener una tasa constante de filtración, la fuerza impulsora debe aumentar proporcionalmente al incremento en la resistencia del filtro, de lo contrario, el caudal a través del filtro declina y la filtración será de tasa declinante.¹⁰

1.12.4.3. Parámetros de optimización

Dentro de los cálculos para filtros primero se determinó la superficie filtrante en función de la siguiente ecuación:

$$S_f = \frac{Q}{T_f}$$

Dónde:

Q: caudal de diseño

T_f: Tasa de filtración

¹⁰Romero, J. Purificación del agua, 2º Edición, Colombia 2006 pag.222

Se calculará además el área de filtración teniendo en cuenta el número de filtros que en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal del Cantón Baños de Agua Santa es de 1.

$$Af = \frac{Sf}{ni}$$

Dónde:

Sf: Superficie filtrante requerida

ni: número de filtros

Para el cálculo del número de módulos de filtración se tendrá la siguiente ecuación:

$$nf = 0.5 \times \sqrt[3]{Af}$$

Dónde:

Af: Área filtrante

Determinaremos el área en cada unidad de los filtros

$$Ai = \frac{Af}{nf}$$

Dónde:

Af: Área de filtración

nf: Número de filtros calculado

El área de filtración por unidad vendrá determinada por:

$$a_f = \left(\frac{2 \times nf \times Ai}{2 \times nf} \right)^{0.5}$$

Dónde:

Ai: Área de la unidad

nf: Número total de unidades de filtración

El ancho de la unidad se calculara por la ecuación:

$$b_f = \left[\frac{(nf + 1) \times Ai}{2 \times nf} \right]^{0.5}$$

Dónde:

Ai: Área de unidad filtrante

nf: Número total de unidades de filtración

Longitud total de la pared:

$$Lt_p = (2 \times b_f \times nf) + a_f \times (nf + 1)$$

Dónde:

nf: Número total de unidades de filtración

b_f: Ancho de la unidad

a_f: área de filtración

Para la longitud total mínima de la pared tendremos:

$$Lm = 2 \times a_f \times (nf + 1)$$

Dónde:

nf: Número total de unidades de filtración

a_f: Longitud de pared común por unidad

En el cálculo del diámetro de la tubería de entrada al filtro la velocidad de entrada al filtro vendrá dada por valores de la siguiente tabla:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v_t * \pi}}$$

Dónde:

Q: Caudal de diseño para cada filtro

v_t: Velocidad en la tubería

TABLA 1-6 VELOCIDADES DE AFLUENTES Y EFLUENTES DENTRO DE TUBERÍAS

Parámetro	Velocidad (m/s)
Afluente	0,3 – 12
Efluente	0,9 – 1,8

Fuente: ROMERO, J. 2006.

Para el diámetro de orificios de los laterales nos basaremos en la tabla que se presenta a continuación:

TABLA 1-7 PARÁMETROS DE LATERALES EN FILTROS

Parámetro	Valor
Espaciamiento de los laterales	1,2 m
Diámetro de los orificios de los laterales	6,5 mm – 15,8 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	7,5 cm – 25 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en orificio	3 – 5 m/s

Fuente: ARBOLEDA, J. 2000.

De acuerdo al diámetro encontrado en la tabla se podrá encontrar el área de cada orificio

$$A_o = \frac{\pi * D_l^2}{4}$$

Dónde:

D_l: Diámetro de la tubería

El caudal que ingresa al orificio será determinado por la siguiente ecuación donde obtendremos valores de velocidad de la siguiente tabla:

$$Q_o = A_o \times v_{or}$$

Dónde:

v_{or}: Velocidad en el orificio

A_o: Área de cada orificio

TABLA 1-8 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LATERALES

Parámetro	Valor
Espaciamiento de los laterales	1,2 m
Diámetro de los orificios de los laterales	6,5 mm – 15,8 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	7,5 cm – 25 cm

Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en orificio	3 – 5 m/s

Fuente: ARBOLEDA, J. 2000.

Para la velocidad óptima de lavado tenemos:

$$v_l = Cu * Te$$

Dónde:

Cu: Coeficiente de uniformidad

Te: Tamaño efectivo de arena

Donde los valores de Cu y Se te los tendrá en la siguiente tabla:

TABLA 1-9 PARÁMETROS DE DISEÑO DE FILTROS DE ARENA

Parámetro	Valor
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho	1,5 m
Profundidad del medio	0,60 – 0,75 m

Profundidad de grava	0,30 – 0,45 m
Tamaño efectivo del medio	0,35 – 0,70 m (valor típico 0,5 m)
Coefficiente de uniformidad	1,3 – 1,7 (valor típico 1,5)
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,10 - 0,25 m

Fuente: ROMERO, J. 2006.

Para el cálculo de la cantidad óptima de agua para el lavado tendremos:

$$V_l = v_l * A_f * t$$

Dónde:

v_l : velocidad optima de lavado

A_f : Área de filtración

t : tiempo óptimo de lavado

1.12.5. Dosificación del Agente Coagulante

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de Sulfato de Aluminio, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

Dónde:

Q: Caudal

C: Concentración de acuerdo al test de jarras

P: Porcentaje de dilución

ρ: Densidad del Sulfato de Aluminio

1.12.6. Desinfección

La desinfección del agua se refiere a la inactivación de los microorganismos especialmente los patógenos que son causantes de enfermedades, que pueden causar daños en los consumidores de agua, y cuya intensidad y gravedad varía dependiendo de muchos factores entre ellos: edad y condición física de la persona infectada, así como del tipo de microorganismo causante de la enfermedad y de la intensidad o concentración en el agua del agente infeccioso.

La desinfección es tal vez el tratamiento más importante y de mayor trascendencia en la potabilización del agua.

1.12.6.1. Dosificación de Cloro Gas

La dosificación de cloro inicia donde el cilindro se conecta al clorador o al múltiple de suministro de cloro si se conecta más de un cilindro, el sistema de dosificación termina en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que se va a desinfectar, los componentes principales del sistema de dosificación son:

- Báscula
- Válvulas y tuberías
- Clorador
- Inyector o eyector y difusor

Con respecto a la báscula podemos mencionar que este elemento se encarga del registro del cloro empleado y la cantidad remanente en el cilindro; las válvulas y tuberías son elementos que permiten la transferencia de cloro y hacer las conexiones hasta el sitio de dosificación regulando o suspendiendo el suministro.

El clorador puede ser una unidad simple, de montaje directo sobre el cilindro, o un gabinete de piso, que permita medir con exactitud y seguridad el flujo de cloro gaseoso desde el cilindro y entregar las dosis exactas establecidas. El clorador está dotado de reguladores de presión y vacío, accionados por diafragmas y orificios que disminuyen la presión del cloro gaseoso. La presión reducida permite un flujo uniforme de gas, medido con exactitud por un rotámetro. Además, mantiene un vacío en la línea al inyector para propósitos de seguridad.¹¹

El cloro se transporta a través de tuberías de PVC, materiales inoxidables o similares donde se distribuye por medio de un difusor; el fin de utilizar este tipo de materiales en las tuberías radica en que la solución de cloro es altamente corrosiva con pH que varían entre 2 a 4.

Los difusores son tuberías cortas perforadas las cuales distribuyen uniformemente la dosificación de cloro dentro del caudal de agua que se va a tratar; existen dos tipos de difusores aquellos usados en tuberías y los que son usados en canales o tanques abiertos. Los difusores de tubería 0,9 m de diámetro es un tubo que se introduce hasta el eje de la tubería principal para proveer dicha mezcla de cloro con el agua a tratar.

Los principales factores en tener en cuenta en sistemas de dosificación de cloro:

- Se debe proveer por lo menos una unidad de reserva que garantice el suministro continuo de la dosis apropiada.

¹¹ROMERO, J. 2006. Purificación del agua, Bogotá-Colombia. pp. 273.

- La luz solar no debe alcanzar directamente los cilindros de cloro.
- Para el control de la dosificación de cloro debe proveer una báscula de plataforma apropiada al tipo y a la cantidad de cilindros requeridos.
- Para minimizar la posibilidad de relieves de cloro gaseoso, la distancia entre clorador y el cilindro de cloro debe ser tan corta como sea posible y el sistema de suministro de cloro, debe estar a una temperatura más baja que el clorador.
- La temperatura mínima para el área de almacenamiento de cloro es de aproximadamente de 10°C; bajo esta temperatura el flujo de cloro es crítico y se debería aislar los cilindros.

Para el cálculo de la cantidad de cloro requerido por día se utiliza la siguiente ecuación:

$$Cl_2 = \frac{Q * d * 86400}{1000 * I}$$

Dónde:

Q: Caudal (L/s)

d: Concentración cloro (mg/L)

I: Pureza del cloro (%)

1.13. Optimización

Los procesos de optimización garantizan el trabajo eficiente y eficaz de las plantas o procesos, estos procesos de optimización constan de evaluar y proponer acciones de mejoras dentro de todo el proceso en general o centrado el trabajo a equipos.

La optimización de plantas de tratamiento de aguas es un conjunto de acciones tanto preventivas como correctivas para el análisis completo de la planta en si logrando de este modo el funcionamiento óptimo y eficaz de la planta, la investigación se efectuara

determinando los problemas que presenta la planta, proporcionando tratamiento y finalizando el proyecto proponiendo soluciones oportunas que sepan satisfacer las necesidades propuestas, como objetivos teniendo como principal iniciativa que el tratamiento sea eficaz y de bajo costo. En los procesos de optimización los costos de operación se pueden reducir hasta en un 10-40% y la capacidad de operación puede aumentar hasta en un 25%.

EL proceso de optimización dentro del GAD Municipal Cantón del Baños de Agua Santa garantizara agua de calidad para todos sus pobladores, esta optimización está fijada a etapa central del proceso como es el proceso de floculación donde por medio de pruebas de jarras dentro del laboratorio se fijó la dosis optima de Sulfato de Aluminio.

1.13.1. Pruebas de jarras

La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza comúnmente en los laboratorios. Este método determina las condiciones de operación óptimas generalmente para el tratamiento de aguas. La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación o floculación que promueven la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica.

Básicamente las pruebas de jarras se han diseñado con dos objetivos principales los cuales son:

- ✓ Como herramienta para diseñar una planta de tratamiento de agua potable
- ✓ Como simulador de laboratorios para determinación de dosificación de insumos químicos aplicables en una planta de tratamiento de agua con el objetivo de mejorar la calidad del agua.

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. MUESTREO

2.1. Localización de la investigación

Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón Baños de Agua Santa se desarrolló en la planta de agua potable, ubicada en el Caserío San Pablo, perteneciente al cantón Baños, provincia de Tungurahua.

2.2. Recolección de muestras

La toma de muestras se las efectuó de acuerdo al cronograma establecido en el proyecto y se realizó las caracterizaciones en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se procedió a un muestreo sistemático simple donde las muestras recolectadas fueron tomadas en la etapa de captación primera etapa de la planta de tratamiento de agua potable y además se tomaron muestras de agua de salida o de consumo al final de la etapa donde el agua ya es tratada; este proceso de muestreo se lo realizó durante 4 semanas.

TABLA 2-1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

MUESTRAS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA				
Lugar de muestreo	Días de muestreo	Número de muestras diarias	Total de muestras en la semana	Total de muestras
Vertiente	2	1	2	2
Coagulador	2	1	2	2
Tanque de almacenamiento	2	1	2	2
Domicilio	2	1	2	2
Total de muestras				8

Realizado por: ÁVILA, Andrés

2.3. Metodología

2.3.1. Metodología de trabajo

La realización de la presente investigación tuvo como fundamento de trabajo la recolección de muestras de agua cruda proceso que se lo realizó dos días a la semana por un mes, estas mismas muestras se las recolectaron teniendo en cuenta especificaciones de seguridad e higiene para evitar posibles contaminaciones cruzadas de las muestras pudiendo producir resultados dudosos de las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua; los análisis de laboratorio se los realizó en el laboratorio de análisis de aguas de las Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.3.2. Tratamiento de muestras

Se tomó 2 muestras semanales de los dos puntos de muestreo de interés a la captación agua cruda y al salir de la planta de tratamiento de agua donde se obtiene el agua potable ya tratada y se realizó la caracterización físico-química de las muestras con parámetros específicos en base a la normas

TABLA 2-2 PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Características Físicas		
Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Turbiedad	NTU	5
Color	Unidades Color Aparente	15
Sabor	-----	No objetable
Olor	-----	No objetable
pH	-----	6,5-8,5
Sólidos Totales	mg/L	1000
Características Químicas		
Cloruros	mg/L	250
Dureza total, CaCO ₃	mg/L	300
Calcio	mg/L	70
Magnesio	mg/L	30-50
Alcalinidad	mg/L	250-300
Bicarbonato	mg/L	250-300

Sulfato	mg/L	200
Amonios	mg/L	1,0
Nitritos	mg/L	0,2
Nitratos	mg/L	50
Hierro	mg/L	0,3
Fosforo	mg/L	<0,3
Características Microbiológicas		
Coliformes totales	NMP/100 ml	<0,2*
<0,2* significa que en el ensayo del NMP utilizando una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo		

Fuente: Norma INEN 1108: 2006, Segunda Edición (utilice solo 2006)

2.3.3. Equipos materiales y reactivos

TABLA 2-3 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos	Materiales	Reactivos
pH-metro	Vasos de Precipitación	Reactivos HACH
Espectrofotómetro HACH	Varillas de agitación	Fenolftaleína
Balanza Analítica	Pipetas	Naranja de metilo
Turbidímetro	Probetas	Dicromato de potasio
Colorímetro	Buretas	Nitrato de plata
Conductímetro	Vasos Erlenmeyer	Cianuro de Potasio

Balones Aforados	Buffer pH 10
	Eriocromo T
	Hidróxido de sodio
	Murexida
	Solución EDTA

Realizado por: ÁVILA, Andrés

2.3.4. *Métodos y Técnicas*

2.3.4.1. *Métodos*

Los métodos utilizados para esta investigación están adaptados al manual “Estandar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el manual de Métodos HACH.

TABLA 2-4 METODOLOGÍA

Determinación	Método	Materiales y Reactivos	Procedimiento
Turbiedad	Nefelométrico	Turbidímetro Muestra de agua	Se coloca la muestra de agua en la celda de medición. Donde por medio del electrodo de cristal del equipo se lee los valores obtenidos.

pH	Potenciométrico	pH-metro Muestras Buffer Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente con el pH-metro por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
Conductividad Eléctrica	Electrométrico	Electrodo Sensible Vasos de Precipitación Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Electrodo Sensible Vasos de Precipitación Muestra de agua	Se coloca muestra de agua en vasos de precipitación donde la muestra es medida directamente por medio del electrodo de cristal que presenta el equipo.
Dureza	Volumétrico	Ericromo T Solución EDTA Muestra de agua Erlenmeyer 50 ml Bureta de 50 ml Pipeta de 10 ml Vaso de precipitación	25 mL de muestra de agua se adiciona 1mL de la solución tampón más una pizca de ericromo T en polvo finalmente se titulará con EDTA.

Nitratos Nitritos Fosfatos Cloruros Cloro Libre, Residual Sulfatos Hierro	Espectrofotometría	Cubetas para equipo HACH Reactivos para cada determinación Muestra de agua	Se colocan 10mL de la muestra así como 10 mL de agua destilada para realizar un blanco y calibrar el equipo. Se coloca después de realizar el blanco del reactivo la muestra de agua, registrar y leer datos proporcionados por el equipo HACH
Escherichia Coli Coliformes Totales	Siembra	Cámara Incubadora Equipo de Filtración Cajas Petri Membranas de filtro Pinza Pipetas Medio de Cultivo	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra y se procede a filtrar, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.

Realizado por: ÁVILA, Andrés

2.4. Datos Experimentales

2.4.1. Descripción del sistema actual existente en el sector

La Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal del Cantón Baños de Agua Santa se abastece del líquido vital del sector El Cristal, perteneciente al Caserío de Vizcaya proveniente del Rio Cristal. El agua desde su captación hasta su llegada a la zona

de los desarenadores recorre de forma entubada por tuberías PVC lo que garantiza sus características físicas-químicas estables para su tratamiento. Actualmente la planta de tratamiento de agua consta de las siguientes etapas:

- Captación
- Coagulación
- Filtración
- Desinfección (Cloro Gas)

La verificación actual del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD Municipal del Cantón Baños de Agua Santa se realizó en compañía del Ingeniero a cargo de la Planta donde se llegó a hacer un análisis de las condiciones actuales de la planta donde se me dio a conocer sus falencias así como de sus posibles soluciones para mejorar la calidad del agua que será distribuida a la población en general.

2.4.2. Datos

2.4.2.1. Caracterización del agua

La caracterización del agua se realizó en la zona de captación donde se donde se recogió dos tipos de muestras, una muestra en época de verano donde existe carencia de lluvias y además en época invernal donde la calidad del agua tiende a ser mucho más turbio por lo cual este será nuestro objeto de control y análisis por presentar peores condiciones que afecten su consumo.

**TABLA 2-5 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SECTOR
CAPTACIÓN SEMANA 1**

Semana 1: Agua cruda Sector Captación (Época Seca)			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
Color	und Co/Pt	14	<15
pH	-----	7,05	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	53	<1250
Turbiedad	UNT	2,2	5
Cloruros	mg/L	4,3	250
Dureza	mg/L	24	200
Calcio	mg/L	8	70
Magnesio	mg/L	1	30-50
Alcalinidad	mg/L	40	250-300
Bicarbonatos	mg/L	40,8	250-300
Amonios	mg/L	0,227	<0,50
Nitritos	mg/L	0	0,01
Nitratos	mg/L	0	<40
Sulfatos	mg/L	52,4	200
Fluoruros	mg/L	0,1	1,5
Hierro	mg/L	0,059	0,3
Fosfatos	mg/L	0,12	<0,3
Solidos Totales	mg/L	80	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	32,9	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**TABLA 2-6 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICO DEL AGUA TRATADA
SEMANA 1**

Semana 1: Agua Tratada (Época Seca)			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
Color	und Co/Pt	19	<15
pH	-----	7,05	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	53	<1250
Turbiedad	UNT	2,9	5
Cloruros	mg/L	4,3	250
Dureza	mg/L	48	200
Calcio	mg/L	9,6	70
Magnesio	mg/L	5,8	30-50
Alcalinidad	mg/L	40	250-300
Bicarbonatos	mg/L	40,8	250-300
Amonios	mg/L	0,18	<0,50
Nitritos	mg/L	0	0,01
Nitratos	mg/L	0	<40
Sulfatos	mg/L	74,1	200
Fluoruros	mg/L	0,1	1,5
Hierro	mg/L	0,109	0,3
Fosfatos	mg/L	0,36	<0,3
Solidos Totales	mg/L	68	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	32,9	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**TABLA 2-7 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SECTOR
CAPTACIÓN SEMANA 2**

Semana 2: Agua cruda Sector Captación (Época Seca)			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
Color	und Co/Pt	2	<15
pH	-----	6,93	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	59	<1250
Turbiedad	UNT	0,9	5
Cloruros	mg/L	5,7	250
Dureza	mg/L	28	200
Calcio	mg/L	8	70
Magnesio	mg/L	1,9	30-50
Alcalinidad	mg/L	20	250-300
Bicarbonatos	mg/L	20,4	250-300
Amonios	mg/L	0,12	<0,50
Nitritos	mg/L	0,02	0,01
Nitratos	mg/L	0,01	<40
Sulfatos	mg/L	15	200
Fluoruros	mg/L	0,7	1,5
Hierro	mg/L	0,03	0,3
Fosfatos	mg/L	0,08	<0,3
Solidos Totales	mg/L	87	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	36,5	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**TABLA 2-8 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SECTOR
CAPTACIÓN SEMANA 3**

Semana 3: Agua cruda Sector Captación (Época Seca)			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
Color	und Co/Pt	11	<15
pH	-----	6,9	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	49,4	<1250
Turbiedad	UNT	5,1	5
Dureza	mg/L	30	200
Calcio	mg/L	9	70
Magnesio	mg/L	1,53	30-50
Alcalinidad	mg/L	20	250-300
Bicarbonatos	mg/L	20,4	250-300
Amonios	mg/L	0,1	<0,50
Nitritos	mg/L	0,011	0,01
Nitratos	mg/L	0,3	<40
Sulfatos	mg/L	31	200
Hierro	mg/L	0,15	0,3
Fosfatos	mg/L	0,26	<0,3
Solidos Totales	mg/L	85	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	35	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**TABLA 2-9 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SECTOR
CAPTACIÓN SEMANA 4**

Semana 4: Agua cruda Sector Captación (Época Invernal)			
Parámetro	Unidad	Resultado	Limite Permisible
Color	und Co/Pt	65	<15
pH	-----	8,47	6,5-8,5
Conductividad	uSiems/cm	29,7	<1250
Turbiedad	UNT	6,55	5
Dureza	mg/L	28	200
Calcio	mg/L	9,6	70
Magnesio	mg/L	1,94	30-50
Alcalinidad	mg/L	25	250-300
Bicarbonatos	mg/L	61,01	250-300
Amonios	mg/L	0,42	<0,50
Nitritos	mg/L	0,016	0,01
Nitratos	mg/L	0,05	<40
Sulfatos	mg/L	2	200
Fluoruros	mg/L	0,09	1,5
Hierro	mg/L	0,19	0,3
Fosfatos	mg/L	0,17	<0,3
Solidos Totales	mg/L	62	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	18,59	500

Fuente: Laboratorio de Análisis Ambientales, UNACH

2.4.2.2. *Caracterización microbiológica*

TABLA 2-10 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA SECTOR CAPTACIÓN

Parámetro	Unidad	Resultado
Coliformes Totales	UCF/100ml	12800

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, SAQMIC

2.4.2.3. *Prueba de Jarras*

La Prueba de Jarras se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad Ciencias, se utilizó Sulfato de Aluminio para flocular material en suspensión del agua.

Se utilizó tres dosificaciones del Sulfato de Aluminio, la primera fue de 0,01g diluido en 1000ml de agua destilada, la segunda concentración de 0,015g diluido en 1000ml y una tercera concentración de 0,05g diluido en 1000ml.

Con las pruebas de jarras se pudo determinar que tanto para época seca como para época invernal la dosificación ideal donde el agua entra en todos los parámetros de norma es de 0,015g diluido en 1000ml.

Por lo dicho anteriormente, la dosificación de 0,015g de Sulfato de Aluminio en 1L de agua es la dosificación adecuada y recomendada en el proceso de floculación dentro de la Planta de Tratamiento.

TABLA 2-11 PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 2,2 PRIMERA SEMANA

Concentración (ppm)	Volumen (ml)	Turbiedad (NTU)
15	1	0,2
	2	4,8
	3	4,4
	4	5

Realizado por: ÁVILA, Andrés

TABLA 2-12 PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 0,9 SEGUNDA SEMANA

Concentración (ppm)	Volumen (ml)	Turbiedad (NTU)
15	1	3
	1,5	2,6
	2	2,2
	2,5	6,2

Realizado por: ÁVILA, Andrés

TABLA 2-13 PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 5,1 TERCERA SEMANA

Concentración (ppm)	Volumen (ml)	Turbiedad (NTU)
15	1	2
	1,5	1,5
	2	1,2
	2,5	4,6

Realizado por: ÁVILA, Andrés

TABLA 2-14 PRUEBA DE JARRAS TURBIDEZ 6,55 CUARTA SEMANA

Concentración (ppm)	Volumen (ml)	Turbiedad (NTU)
15	1	0,12
	1,5	0,08
	2	0,1
	2,5	0,1

Realizado por: ÁVILA, Andrés

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y RESULTADOS

3. CÁLCULOS

Los cálculos de Ingeniería realizados son un complemento a la información técnica de los planos, así como de comprobación y de verificación para el funcionamiento óptimo del resto de las etapas. Al conocer la problemática existente en la etapa de floculación en la Planta de Tratamiento de Agua del GAD Municipal Cantón Baños de Agua Santa, se procedió a realizar los respectivos cálculos para mejorar la calidad de agua que entregara el Cantón.

Se tomó en cuenta el caudal de diseño proporcionado por el personal de Agua Potable del GAD Municipal Cantón Baños de Agua Santa el cual es de 15 L/s

3.1. Dimensionamiento de Floculador

Procediendo de los antecedentes de que la calidad del agua mejorará con la adición de floculantes se procedió a realizar los cálculos de Floculador en todos sus parámetros.

3.1.1. *Área en función de la Altura*

$$A = L \times Hu$$

(Ecuación 3-1)

Datos:

L: Largo del canal: 3.4 m

Hu: Altura del canal: 3.7 m

$$A = 3.4 \, m \times 3.7 \, m$$

$$A = 12.58 \, m^2$$

3.1.2. Velocidad de Flujo

$$v = \frac{Q}{A}$$

(Ecuación 3-2)

Datos:

Q: Caudal de agua: 0.015 m³/s.

A: Área: 12.58 m²

$$v = \frac{0.015 \, m^3/s}{12.58 \, m^2}$$

$$v = 0.00119236 \, m/s$$

3.1.3. Longitud del canal

$$L_c = v \times T \times 60$$

(Ecuación 3-3)

Datos:

T: Tiempo de retención: 30 min.

V: Velocidad del flujo: 0.00119236 m/s

$$L_c = 0.00119236 \, m/s \times 30 \, \text{min} \times 60$$

$$L_c = 2.14625 \, m$$

3.1.4. Longitud del Floculador

$$L_f = (N_c \times a) + (N_c - 1) e$$

(Ecuación 3-4)

Datos:

Nc: Número de canales: 9

a: Ancho de los canales de floculación: 0.5 m

e: Espesor de las láminas: 0.10 m

$$L_f = (9 \times 0.5) + (9 - 1) \times 0.10$$

$$L_f = 5.3 \, m$$

3.1.5. Perímetro mojado de las secciones del tramo

$$P = 2Hu + a$$

(Ecuación 3-5)

Datos:

Hu: Altura en la unidad = 3.7 m

a : Ancho de los canales de floculación = 0.5 m

$$P = (2 \times 3.7 \text{ m}) + 0.5 \text{ m}$$

$$P = 7.9 \text{ m}$$

3.1.6. Área de canales de floculador

$$Ac = l \times a$$

(Ecuación 3-6)

Datos:

l: Largo del canal = 3.4 m

a : Ancho de los canales de floculación = 0.5 m

$$Ac = 3.4 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$$

$$Ac = 1.7 \text{ m}^2$$

3.1.7. Radio medio hidráulico

$$r = \frac{Ac}{P}$$

(Ecuación 3-7)

Datos:

Ac: Área de los canales del floculador = 1.7 m²

P: Perímetro mojado de las secciones = 9.4 m

$$r = \frac{1.7}{9.4}$$

$$r = 0.18085 \text{ m}$$

3.1.8. *Perdida de carga continúa en los canales*

$$h_f = \left[\frac{(n \times v)^2}{r^{4/3}} \right] * L_c$$

(Ecuación 3-8)

Datos:

v: Velocidad del fluido = 0.00119236 m/s

n: coeficiente de Manning: 0.011 (Tabla 1-1 Coeficiente de Manning)

r: radio medio hidráulico = 0.18085 m

Lc: Longitud de canales = 2.14625 m

$$h_f = \left[\frac{(0.011 * 0.00119236)^2}{0.18085^{4/3}} \right] * 2.14625$$

$$h_f = 3.61 \times 10^{-9} m$$

3.1.9. *Perdida de carga continúa en las vueltas*

$$h = \frac{K(N_c - 1)v^2}{2g}$$

(Ecuación 3-9)

Datos:

K: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas: 2 (válvula de retención totalmente abierta)

v: Velocidad del fluido = 0.00119236 m/s

Nc: Número de canales = 9

g: Aceleración de la gravedad: 9.8 m/s².

$$h = \frac{2 \times (0.00119236)^2 \times (9 - 1)}{2 \times 9.8}$$

$$h = 1.1605 \times 10^{-6} m$$

3.1.10. *Perdida de carga total en el último tramo*

$$H = h_f + h$$

(Ecuación 3-10)

Datos:

h_f : pérdida de la carga en los canales

h : Pérdida de carga en las vueltas

$$H = 3.61 \times 10^{-9} + 1.1605 \times 10^{-6}$$

$$H = 1.16411 \times 10^{-6} \text{ m}$$

3.1.11. Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \sqrt{\frac{H}{T}}$$

(Ecuación 3-11)

Datos:

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2 920.010 (Tabla 1 2 Relación Temperatura y relación peso específico y viscosidad absoluta)

H : Pérdida de carga total: $1.3015 \times 10^{-6} \text{ m}$.

T : Tiempo de retención: 30 min.

G: Gradiente de velocidad (s^{-1}).

$$G = 2920.0100 \sqrt{\frac{1.16411 \times 10^{-6}}{30 \times 60}}$$

$$\mathbf{G = 0.074258 \text{ s}^{-1}}$$

3.2. Dimensionamiento de Filtro

3.2.1. Superficie filtrante requerida

$$\mathbf{Sf = \frac{Q}{Tf}}$$

(Ecuación 3-12)

Datos:

Q: caudal de diseño: $54 \text{ m}^3/\text{h}$

Tf: Tasa de filtración ($0.400 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$)

$$Sf = \frac{54}{0.400}$$

$$\mathbf{Sf = 135 \text{ m}^2}$$

3.2.2. Área de filtración

$$Af = \frac{Sf}{ni}$$

(Ecuación 3-13)

Datos:

Sf: Superficie filtrante requerida: 135 m²

ni: número de filtros: 1 unidad.

$$Af = \frac{135}{1}$$

$$Af = 135 \text{ m}^2$$

3.2.3. Número de módulos de filtración

$$nf = 0.5 \times \sqrt[3]{Af}$$

(Ecuación 3-14)

Datos:

Ai: Área de la unidad: 45 m².

nf: Número total de unidades de filtración: 3

$$a_f = \left(\frac{2 \times 3 \times 45}{2 \times 3} \right)^{0.5}$$

$$a_f = 6.7 \approx 7 \text{ m}$$

3.2.4. Cálculo para el ancho de la unidad

$$b_f = \left[\frac{(nf + 1) \times Ai}{2 \times nf} \right]^{0.5}$$

(Ecuación 3-15)

Datos:

Ai: Área de unidad filtrante: 45 m².

nf: Número total de unidades de filtración: 3

$$b_f = \left[\frac{(3 + 1) \times 45}{2 \times 3} \right]^{0.5}$$

$$b_f = 5.5 \approx 6 \text{ m}$$

3.2.5. Longitud total de pared

$$Lt_p = (2 \times b_f \times nf) + a_f \times (nf + 1)$$

(Ecuación 3-16)

Datos:

nf: Número total de unidades de filtración: 3

b_f: Ancho de la unidad: 6 m.

a_f: área de filtración: 7 m.

$$Lt_p = (2 \times 6 \times 3) + 7 \times (3 + 1)$$

$$L_{t_p} = 172 \text{ m}$$

3.2.6. *Longitud total mínima de pared*

$$L_m = 2 \times a_f \times (n_f + 1)$$

(Ecuación 3-17)

Datos:

n_f : Número total de unidades de filtración: 3

a_f : Longitud de pared común por unidad: 7 m.

$$L_m = 2 \times 7 \times (3 + 1)$$

$$L_m = 56 \text{ m}$$

3.2.7. *Tubería de entrada al filtro*

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v t * \pi}}$$

(Ecuación 3-18)

Datos:

Q: Caudal de diseño para cada filtro (0.015 m³/s)

v_t : Velocidad en la tubería (1m/s) (Tabla 1-6 Velocidades de afluentes y efluentes dentro de tuberías)

$$D = \sqrt{\frac{4 (0.015)}{1 * \pi}}$$

$$D = 0.138 \text{ m}$$

$$\mathbf{D = 138.197 \text{ mm}}$$

3.2.8. *Área de cada orificio*

$$A_o = \frac{\pi * D_l^2}{4}$$

(Ecuación 3-19)

Datos:

D_l: Diámetro de la tubería: 9mm (Tabla 1-7 Parámetros de laterales en filtros)

$$A_o = \frac{\pi * (0.009)^2}{4}$$

$$\mathbf{A_o = 6.36 \times 10^{-5} m^2}$$

3.2.9. Caudal que ingresa a cada orificio

$$Q_o = A_o * v_{or}$$

(Ecuación 3-20)

Datos:

v_{or} : Velocidad en el orificio: 3 m/s (Tabla 1-8 Parámetros de diseño de laterales)

A_o : Área de cada orificio: $6.36 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.

$$Q_o = 6.36 \times 10^{-5} \times 3$$

$$Q_o = \frac{1.908 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{\text{s}}$$

3.2.10. Velocidad óptima de lavado

$$v_l = Cu * Te$$

(Ecuación 3-21)

Datos:

Cu : Coeficiente de uniformidad = 1.5 (Tabla 1-9 Parámetros de Diseño de Filtros de Arena)

Te : Tamaño efectivo de arena = 0.5 (Tabla 1-9 Parámetros de Diseño de Filtros de Arena)

$$v_l = 0.5 * 1.5$$

$$v_l = 0.75 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

3.2.11. Cantidad de agua para lavado

$$V_l = v_l * A_f * t$$

(Ecuación 3-22)

Datos:

v_l : *velocidad* optima de lavado = 0.75m/min

A_f : Área de filtración = 135 m²

t : tiempo óptimo de lavado = 10 min

$$V_l = 0.75 * 10 * 135$$

$$V_l = 1012.5 \text{ m}^3$$

3.3. Determinación del Agente Coagulante

3.3.1. Cálculo de dosificación de Sulfato de Aluminio en Época Invernal

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de Sulfato de Aluminio, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

$$X = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

(Ecuación 3-23)

Datos:

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{h)} = 54 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C = \text{Concentración de acuerdo al test de jarras} = 15 \text{ mg/L}$$

$$P = \text{Porcentaje de dilución} = 1$$

$$\rho = \text{Densidad del Sulfato de Aluminio (Kg/L)} = 2.67 \text{ g/mL}$$

$$X = \frac{54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \left(15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{g}}{1000 \text{mg}} \right)}{60 * 1 * 2.67 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * \frac{1000 \text{ml}}{\text{L}}}$$

$$X = 5.056617 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{h}$$

$$X = 1.08871 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1000 \text{L}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ml}}{\text{L}} * \frac{\text{h}}{60 \text{ min}}$$

$$x = 0.084269 \text{ ml}/\text{min}$$

$$X = 0.18145 \frac{\text{ml}}{\text{min}} * \frac{\text{L}}{1000 \text{ml}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} * \frac{24 \text{h}}{\text{día}}$$

$$x = 0.12134 \text{ L}/\text{día}$$

$$X = 0.12134 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 2.67 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}}$$

$$X = 0.32397 \text{ kg}/\text{día} = 9.719 \text{ kg}/\text{mes}$$

3.3.2. Cálculo de la dosificación de Sulfato de Aluminio en Época Verano

$$X = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

(Ecuación 3-24)

Datos:

Q =Caudal (m^3/h) = 54 m^3/h

C = Concentración de acuerdo al test de jarras = 12 mg/L

P = Porcentaje de dilución = 1

ρ = Densidad del Sulfato del Aluminio (Kg/L) = 2.67 g/mL

$$X = \frac{54 \frac{m^3}{h} * \left(12 \frac{mg}{L} * \frac{1g}{1000mg} \right)}{60 * 1 * 2.67 \frac{g}{ml} * \frac{1000ml}{L}}$$

$$x = 4.04494 \times 10^{-6} m^3/h$$

$$X = 8.7096 \times 10^{-6} \frac{m^3}{h} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1000ml}{L} * \frac{h}{60 min}$$

$$X = 0.067415 ml/min$$

$$X = 0.14516 \frac{ml}{min} * \frac{L}{1000ml} * \frac{60 min}{h} * \frac{24h}{día}$$

$$X = 0.097 L/día$$

$$X = 0.097 \frac{L}{día} * 2,67 \frac{g}{ml} * \frac{1 kg}{1000 g} * \frac{1000 ml}{1 L}$$

$$X = 0,2589 \text{ kg/día} = 7,767 \text{ kg/mes}$$

3.4. Cálculo de Dosificación de Cloro Gas

Mediante la siguiente ecuación obtendremos la cantidad de cloro gas:

$$Cl_2 = \frac{Q * d * 86400}{1000 * I}$$

(Ecuación 3-25)

Datos:

Q : 15 L/s

d : 1,5 mg/L

I : 80%

$$Cl_2 = \frac{15 * 1,5 * 86400}{1000 * 0,8}$$

$$Cl_2 = 24300 \text{ g}$$

$$Cl_2 = 24,3 \text{ kg}$$

3.5. Porcentaje de Remoción

3.5.1. *Turbiedad*

Datos:

Antes del tratamiento = 6,55 (UNT)

Después del tratamiento = 0,12 (UNT)

$$x = \frac{6,55 - 0,12}{6,55} * 100$$

$$x = 98,16\%$$

3.5.2. *Color*

Datos:

Antes del tratamiento = 65 (Und Co/Pt)

Después del tratamiento = 2 (Und Co/Pt)

$$x = \frac{65 - 2}{65} * 100$$

$$x = 96,92\%$$

3.5.3. *Nitritos*

Datos:

Antes del tratamiento = 0,02 (mg/L)

Después del tratamiento = 0,00 (mg/L)

$$x = \frac{0,02 - 0,00}{0,02} * 100$$

$$x = 100\%$$

3.5.4. Fosfatos

Datos:

Antes del tratamiento = 0,36 (mg/L)

Después del tratamiento = 0,12 (mg/L)

$$x = \frac{0,36 - 0,12}{0,36} * 100$$

$$x = 66,67\%$$

3.6. Cálculo de los Costos de Operación con Sulfato de Aluminio

3.6.1. Cálculo de los costos de operación para época invernal

Datos:

Dosificación de Sulfato de Aluminio = 0,32397 (kg/día)

Costo del saco de Sulfato de Aluminio = \$ 34,16

Presentación del costo de Sulfato de Aluminio = 50 kg

$$\$ = \frac{0,32397 \left(\frac{kg}{día} \right) * \$34,16}{50 \text{ kg}}$$

$$\text{\$} = \mathbf{0,221} (\text{\$/dia})$$

$$\text{\$} = \frac{9,719 \left(\frac{kg}{mes} \right) * \$34,16}{50 kg}$$

$$\text{\$} = \mathbf{6,64} (\text{\$/mes})$$

3.6.2. Cálculo de los costos de operación para época verano

Datos:

Dosificación de Sulfato de Aluminio = 0,2589 (kg/día)

Costo del saco de Sulfato de Aluminio = \$ 34,16

Presentación del costo de Sulfato de Aluminio = 50 kg

$$\text{\$} = \frac{0,2589 \left(\frac{kg}{dia} \right) * \$34,16}{50 kg}$$

$$\text{\$} = \mathbf{0,176} (\text{\$/dia})$$

$$\text{\$} = \frac{7,767 \left(\frac{kg}{mes} \right) * \$34,16}{50 kg}$$

$$\text{\$} = \mathbf{5,306} (\text{\$/mes})$$

3.7. Resultados

3.7.1. Resultados Floculador

TABLA 3-1 RESULTADOS FLOCULADOR

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área en función de altura	A	12.58	m ²
Velocidad de Flujo	v_l	1.19236×10^{-3}	m/s
Longitud del Canal	Lc	2.14625	m
Longitud del Floculador	L_f	5.3	m
Perímetro mojado de las secciones del tramo	P	7.9	m
Área de Canales de Floculador	Ac	1.7	m ²
Radio Medio Hidráulico	R	0.18085	m
Perdida de carga continua en los canales	h_{fl}	3.61×10^{-9}	m
Perdida de carga continua en las vueltas	h	1.1605×10^{-6}	m
Perdida de carga total en el último tramo	H	1.16411×10^{-6}	m
Gradiente de velocidad	G	0.074258	s ⁻¹

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.7.2. Resultados Filtros

TABLA 3-2 RESULTADOS FILTROS

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Superficie Filtrante Requerida	Sf	135	m ²
Área de Filtración	Af	135	m ²
Determinación del número de módulos de filtración	Nf	3	Unidades
Determinación de área de cada unidad	Ai	45	m ²
Determinación del área de filtración de la unidad	a _f	7	m
Ancho de la unidad	b _f	6	m
Longitud Total de la Pared	Ltp	172	m
Longitud Total Mínima de la Pared	Lm	56	m
Tubería de entrada al filtro	D	138.197	mm
Área de cada Orificio	A _o	6.36 x 10 ⁻⁵	m ²
Caudal que Ingresa a cada Orificio	Q _o	1.908 x 10 ⁻⁴	m ³ /s
Velocidad Optima de Lavado	v _l	0.75	m/min
Cantidad de Agua para Lavado	V _l	1012.5	m ³

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.7.3. Resultados Dosificación Agente Coagulante

TABLA 3-3 RESULTADO DOSIFICACIÓN AGENTE COAGULANTE ÉPOCA INVERNAL

Coagulante	Símbolo	Dosificación	Unidad
Sulfato de Aluminio	X	0.084269	ml/min
		0.12134	L/día
		0,32397	kg/día
		9,719	kg/mes

Realizado por: ÁVILA, Andrés

TABLA 3-4 RESULTADO DOSIFICACIÓN AGENTE COAGULANTE ÉPOCA VERANO

Coagulante	Símbolo	Dosificación	Unidad
Sulfato de Aluminio	X	0,067415	ml/min
		0,097	L/día
		0,2589	kg/día
		7,767	kg/mes

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.7.4. Resultado Optimización de Agua Potable realizado con Prueba de Jarras

TABLA 3-5 RESULTADOS OPTIMIZACIÓN DE AGUA POTABLE REALIZADO CON PRUEBA DE JARRAS

Determinación	Unidades	Resultado	Límite Permisible
Color	Und Co/Pt	2	< 15
pH	Unid	6.58	6.5-8.5
Conductividad	μSiems/cm	49.4	< 1250
Turbiedad	UNT	0.12	5
Cloruros	mg/L	0.4	250
Dureza	mg/L	24.0	200
Calcio	mg/L	8.0	70
Magnesio	mg/L	1.0	30-50
Alcalinidad	mg/L	20.0	250-300
Bicarbonatos	mg/L	20.4	250-300
Sulfatos	mg/L	16.0	200
Amonios	mg/L	0.1	< 0.50
Nitritos	mg/L	0.00	0.01
Nitratos	mg/L	0.1	< 40
Hierro	mg/L	0.05	0.30
Fosfatos	mg/L	0.12	< 0.30
Sólidos Totales	mg/L	87.0	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	32.0	500

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.7.5. Resultado de dosificación de Cloro

TABLA 3-6 RESULTADO DE DOSIFICACIÓN DE CLORO GAS

Parámetro	Resultado
Cl ₂	24,3 kg

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.7.6. Porcentaje de Rendimiento

TABLA 3-7 PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Parámetro	Antes de Tratamiento	Después de Tratamiento	% de Remoción
Turbiedad (UNT)	6,55	0,12	97.65
Color (Und Co/Pt)	65	2	96,93
Nitritos (mg/L)	0,02	0,00	100
Fosfatos (mg/L)	0,36	0,12	66,67

Realizado por: ÁVILA, Andrés

GRÁFICO 3-1 TURBIEDAD, ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO

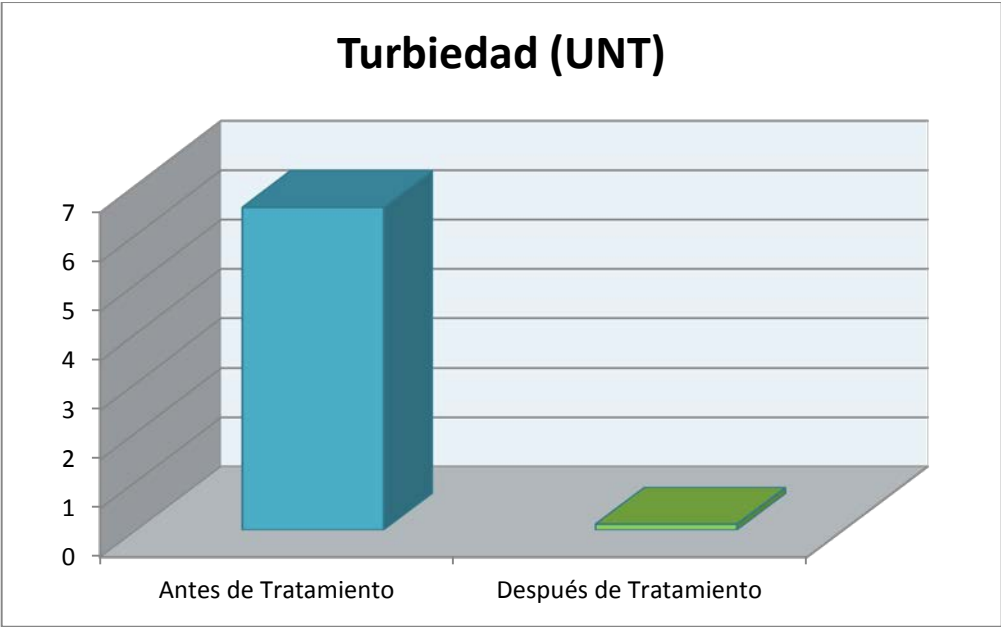


GRÁFICO 3-2 COLOR, ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO

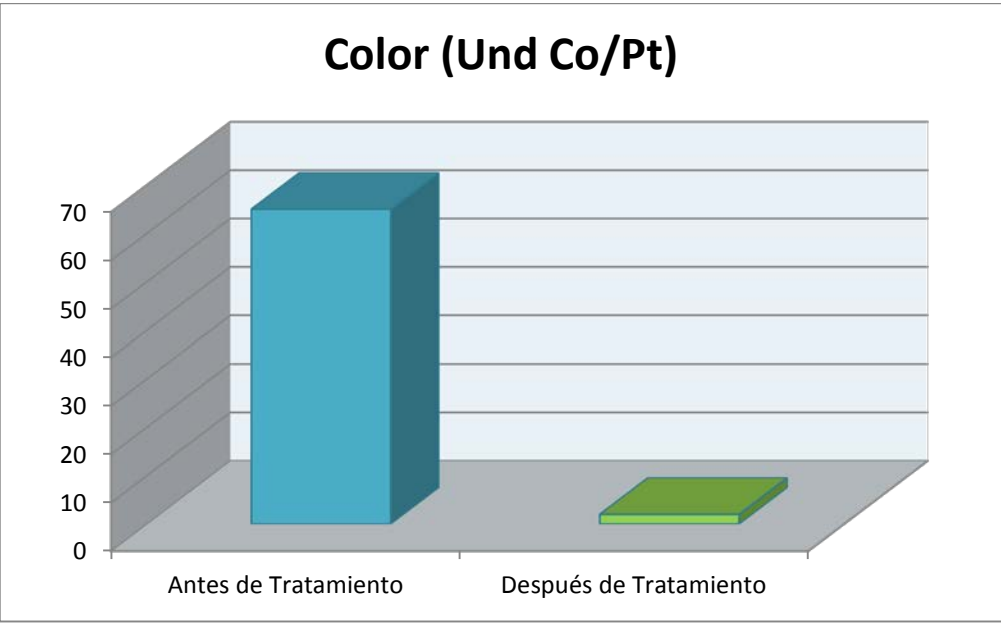


GRÁFICO 3-3 NITRITOS, ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO

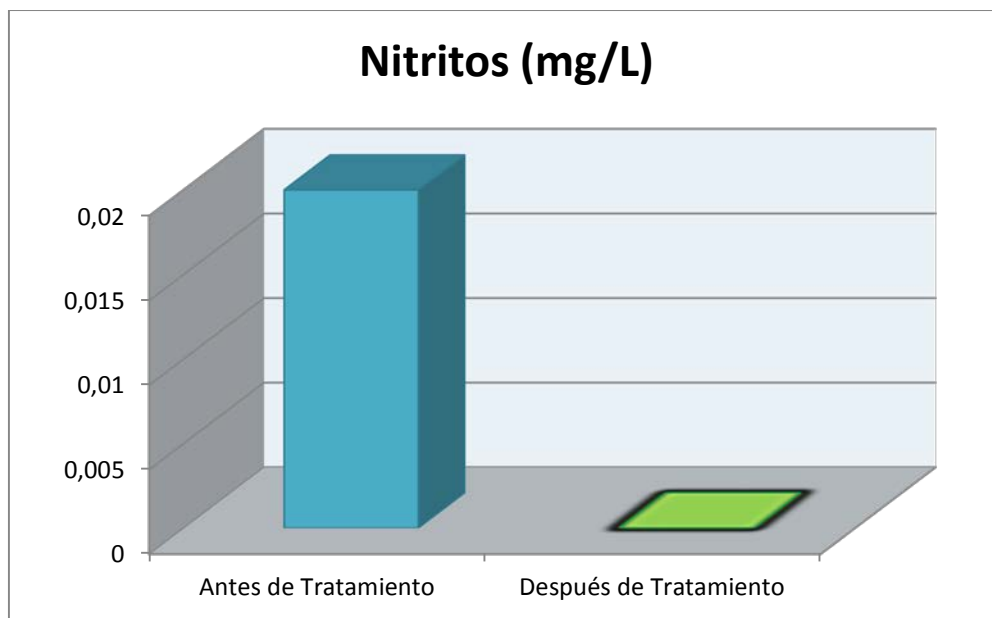
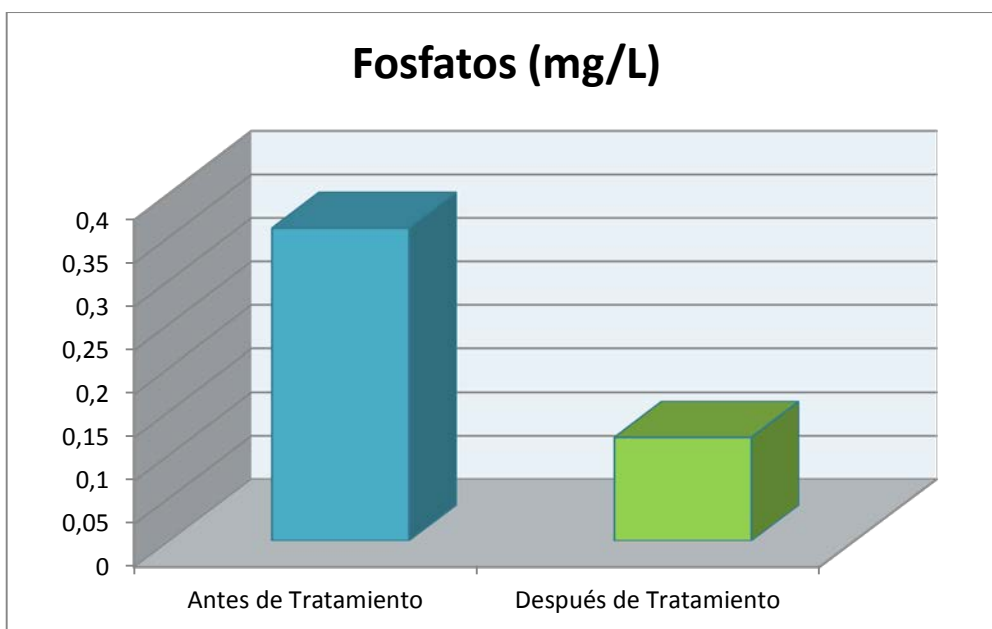


GRÁFICO 3-4 FOSFATOS, ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO



3.8. Propuesta



Ilustración 3-1 Estado Actual de la Planta de Tratamiento



Ilustración 3-2 Propuesta

3.9. Presupuesto General

3.9.1. Costos de operación

3.9.1.1. Costos de operación al día

TABLA 3-8 COSTOS DE OPERACIÓN PARA SULFATO DE ALUMINIO ÉPOCA INVERNAL

Coagulante	Dosis	Presentación	Costo (\$)	Costo Total (\$)
Sulfato de Aluminio	0,32397 (kg/día)	Sacos de 50 kg	34,16	0,221
	9,719 (kg/mes)			6,64

Realizado por: ÁVILA, Andrés

TABLA 3-9 COSTOS DE OPERACIÓN PARA SULFATO DE ALUMINIO ÉPOCA VERANO

Coagulante	Dosis	Presentación	Costo (\$)	Costo Total (\$)
Sulfato de Aluminio	0,2589 (kg/día)	Sacos de 50 kg	34,16	0,176
	7,767 (kg/mes)			5,306

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.10. Comparación entre Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio

TABLA 3-10 COSTOS DE OPERACIÓN PARA SULFATO DE ALUMINIO

Coagulante	Dosis	Presentación	Costo (\$)	Costo Total (\$)
Sulfato de Aluminio	0,32397 (kg/día)	Sacos de 50 kg	34,16	0,221
	9,719 (kg/mes)			6,64

Realizado por: ÁVILA, Andrés

TABLA 3-11 COSTOS DE OPERACIÓN PARA POLICLORURO DE ALUMINIO

Coagulante	Dosis	Presentación	Costo (\$)	Costo Total (\$)
Policloruro de Aluminio	0,32397 (kg/día)	Sacos de 125 kg	179,20	0,4644
	9,719 (kg/mes)			13,933

Realizado por: ÁVILA, Andrés

3.11. Análisis y Discusión de Datos

Realizando las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua a la entrada y a la salida de la planta, teniendo como base la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión, se observó parámetros fuera de norma en época invernal como en verano siendo estos: color, turbiedad y nitritos; sin embargo estos parámetros pueden cumplir los valores establecidos por la Norma con una dosis adecuada de coagulante químico y esto se puede conseguir, realizando análisis en el laboratorio, del agua a tratar; uno de los principales análisis a realizar es la prueba de jarras en donde se obtiene la dosis correcta de coagulante químico.

En la prueba de jarras, el coagulante a utilizar es el Sulfato de Aluminio, con el cual realizando diferentes pruebas a diferentes concentraciones, obtenemos la dosificación apropiada para el mejoramiento de la calidad de esta agua, esto se puede apreciar en los siguientes resultados; en época lluviosa la dosificación de agente coagulante Sulfato de Aluminio es de 323,97 g/día (9,719 kg/mes) y la dosificación de coagulante en época de verano es 258,9 g/día (7,767 kg/mes). Realizando la optimización de agua potable con prueba de jarras, se obtuvo resultados y estos se encuentran en la Tabla 3-5.

Una vez conocidos los resultados se obtendrá el porcentaje de remoción, teniendo resultados antes y después del tratamiento para cada parámetro, los porcentajes de remoción para la turbiedad es de 97,65%, para el color es de 96,93%, para los nitritos es de 100% y para los fosfatos es de 66,67%. Evidenciando una mejoría en el proceso con la dosificación adecuada de Sulfato de Aluminio. En función de la dosificación de cloro gas, se realizó análisis y evidenciando los datos, se observó que el mejor rendimiento para la dosificación del cloro gas es de 24,3 kg.

Por lo expuesto anteriormente, se obtiene una mejoría importante en el rendimiento de la planta, principalmente con la dosificación del coagulante, eliminando los parámetros que se encontraban fuera de norma.

CONCLUSIONES

- Efectuando los análisis físico-químicos y microbiológicos, se observó que la planta de tratamiento presenta ciertos parámetros que necesitan tratamiento y con la oportuna dosificación de cloro gas y agente coagulante obtenida técnicamente, los parámetros cumplen los requisitos de la Norma INEN 1108:2006 segunda revisión. La Turbiedad con 6,55 UNT con el límite permisible de 5 UNT, el Color con valor de 65 (Und Co/Pt) con el límite permisible de 15 (Und Co/Pt), los Nitritos teniendo un valor de 0,02 mg/L con el límite permisible de 0,01 mg/L y finalizando con los Fosfatos 0,36 mg/L con el límite permisible de <0,30, se concluye que los parámetros mencionados anteriormente son los que no cumplen con lo que establece la Norma INEN 1108:2006.
- Se plantea una alternativa de mejora para la Planta de Tratamiento en el proceso de coagulación, con la utilización del coagulante Sulfato de Aluminio de 0,32397 kg/día (9,719 kg/mes); ya que con los análisis realizados durante el período de investigación del proyecto, el coagulante mejorará y corregirá los parámetros que se encuentren fuera de norma en esta etapa y por consiguiente en las siguientes etapas.
- Para la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, se debe dosificar correctamente el coagulante en la etapa de coagulación y el cloro gas en la etapa de desinfección o cloración; una vez determinados técnicamente los valores y de acuerdo a los costos, se evidencia que los gastos por consumo de Sulfato de Aluminio son mínimos, en épocas de lluvia de \$0,221 por día (\$6,64 por mes) y en épocas de verano \$0,176 por día (\$5,306 por mes).

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Aplicar el estudio realizado para mejorar el sistema de tratamiento, utilizando Sulfato de Aluminio en la etapa de coagulación y cloro gas en la etapa de desinfección, con lo cual se mejorará la calidad del agua que abastecerá a la población de la ciudad de Baños.
- Realizar caracterizaciones periódicas del agua en las fuentes de captación, con el propósito de obtener datos que nos faciliten identificar las posibles fuentes infectadas para evitar su utilización.
- Efectuar mantenimientos programados de toda la planta de tratamiento, con la utilización de cloro, para la eliminación de cualquier agente patógeno existente.
- Utilizar equipos de protección personal para evitar posibles accidentes durante la operación de la planta.
- Realizar capacitaciones periódicas a todo el personal para que adquieran nuevos conocimientos e implanten estos en sus respectivas áreas de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Agua su Calidad y Tratamiento. México D.F.-México. Hispano Americana. 1968, pp. 47-131.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Agua su Calidad y Tratamiento. Medellín-Colombia. McGraw Hill. 2011, pp. 297-357; 363-441.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Calidad y Tratamiento del Agua. 5ª ed, Madrid-España. McGraw Hill. 2002, pp. 47-131; 137-296.

ARBOLEDA, J. Teoría y Prácticas de la Purificación del Agua. 3ª ed, Bogotá-Colombia. McGraw Hill. 2000, pp. 205-234.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN. Norma Técnica Ecuatoriana - Requisitos para el agua potable INEN 1108:2006. 2ª ed, Quito-Ecuador. 2006.

ROMERO, J. Calidad del agua. 3ª ed, Bogotá-Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009, pp. 337-350.

ROMERO, J. Purificación del agua. 2ª ed, Bogotá-Colombia. Universidad de Medellín. 2006, pp. 142-273.

SIERRA C. Calidad del Agua. Medellín-Colombia. Universidad de Medellín. 2011, pp. 27-80.

SIERRA, C. Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico. Medellín-Colombia. Universidad de Medellín. 2011, pp. 27-78.

PRUEBA DE JARRAS

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/padilla_s_mf/capitulo3.pdf

2014-10-01

TRATAMIENTO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE

<http://www.canaleduca.com/documents/10157/19805/Tratamiento+de+desinfecci%C3%B3n+del+agua+potable>

2014-10-28

DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3146/1/6281622H565.pdf>


2014-11-19

ANEXO I PLANTA DE TRATAMIENTO



Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA Andrés Francisco Ávila Velastegui	PLANTA DE TRATAMIENTO		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			1		

ANEXO II
NORMA NTE INEN 1 108:2006, SEGUNDA REVISIÓN



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2006
Segunda revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS.

Primera Edición

WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.

AL 01 (04-03)


CDU 644.61

CDU 4200

ICS 13.000.20

CDU 644.61

ICS 13.000.20



NTE INEN 1 108:2006
Segunda revisión
2006-03

Norma Técnica
Ecuatoriana
Obligatoria

AGUA POTABLE.
REQUISITOS.

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. DEFINICIONES

3.1 Agua Potable. Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

3.2 Agua Cruda. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características físicas, químicas o microbiológicas.

3.3 Límite máximo permisible. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.

3.4 UFC/mL. Concentración de microorganismos por millilitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

3.5 NMP. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los Tubos múltiples.

3.6 µg/L. (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.7 mg/L. (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.8 Microorganismo patógeno. Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

3.9 Pesticidas. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

3.10 Desinfección. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

3.11 Subproductos de desinfección. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

3.12 Radio nucleído. Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y mismo A.

3.13 MBAS, ABS. Sustancias activas al azul de metileno, Alquil Benceno Sulfonato.

3.14 Cloro residual. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

3.15 Dureza total. Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.

www.inen

INSTITUTO Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3389 - Baquería Moreno ES-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

NTE INEN 1 108

2006-03

3.16 Sólidos totales disueltos. Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/mL

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos Específicos

5.1.1 El Agua Potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permisible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	—	no objetable
Sabor	—	no objetable
pH	—	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos inorgánicos	mg/l	1 000
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₄)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuro, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Cloruro, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Estadio, Se	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitrato, N-NO ₃	mg/l	50
Nitrito, N-NO ₂	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfato, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos		
Radiación total α **	Bq/l	0,1
Radiación total β ***	Bq/l	1,0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²¹⁰Ra, ²¹⁰Rn, ²¹⁰Bi, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Th, ²¹⁰Pa

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ¹³²I, ¹³⁴Cs, ¹³⁴La, ¹³⁴Pb, ¹³⁴Pr

(Continúa)

2006-030

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA Andrés Francisco Ávila Velastegui	NORMA NTE INEN 1 108:2006, SEGUNDA REVISIÓN		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			2		

ANEXO III PRUEBA DE JARRAS



Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA Andrés Francisco Ávila Velastegui	PRUEBA DE JARRAS		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			3		

ANEXO IV ANÁLISIS DE LABORATORIO ÉPOCA VERANO

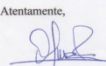
1)

ESPOCH
LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS
Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador
INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS
Solicitado por: Sr. Andrés Ávila
Fecha de análisis: 12 de marzo del 2014
Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Agua Cruda
Localidad: Sistema de agua de consumo doméstico. Cantón Baños
TRABAJO DE TESIS Código: LAT 037-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	14.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.05
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	53
Turbiedad	UNT	5	2.2
Cloruros	mg/L	250	4.3
Dureza	mg/L	200	24.0
Calcio	mg/L	70	8.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	1.0
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40.8
Sulfatos	mg/L	200	52.4
Amonios	mg/L	< 0.50	0.227
Nitritos	mg/L	0.01	0.00
Nitratos	mg/L	< 40	0.0
Fluoruros	mg/L	1.5	0.1
Hierro	mg/L	0.30	0.059
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.120
Sólidos Totales	mg/L	1000	80.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	32.9

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores encontrados dentro de norma

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS
Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.
El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

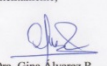
2)

ESPOCH
LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS
Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador
INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS
Solicitado por: Sr. Andrés Ávila
Fecha de análisis: 12 de marzo del 2014
Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Agua Tratada
Localidad: Sistema de agua de consumo doméstico. Cantón Baños
TRABAJO DE TESIS Código: LAT 037-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	19.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.05
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	53
Turbiedad	UNT	5	2.9
Cloruros	mg/L	250	4.3
Dureza	mg/L	200	48.0
Calcio	mg/L	70	9.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	5.8
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	40.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	40.8
Sulfatos	mg/L	200	74.1
Amonios	mg/L	< 0.50	0.180
Nitritos	mg/L	0.01	0.00
Nitratos	mg/L	< 40	0.0
Fluoruros	mg/L	1.5	0.1
Hierro	mg/L	0.30	0.109
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.160
Sólidos Totales	mg/L	1000	68.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	32.9

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de color y fosfatos fuera de norma

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS
Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.
El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

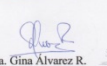
3)

ESPOCH
LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS
Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador
INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS
Solicitado por: Sr. Andrés Ávila
Fecha de análisis: 14 de mayo del 2014
Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Tanques de captación
Localidad: Baños de agua Santa
TRABAJO DE TESIS Código: LAT 065-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	2
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.93
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	59
Turbiedad	UNT	5	0.9
Cloruros	mg/L	250	5.7
Dureza	mg/L	200	28.0
Calcio	mg/L	70	8.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	1.9
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	20.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	20.4
Sulfatos	mg/L	200	15.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.120
Nitritos	mg/L	0.01	0.02
Nitratos	mg/L	< 40	0.010
Fluoruros	mg/L	1.5	0.7
Hierro	mg/L	0.30	0.030
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.080
Sólidos Totales	mg/L	1000	87.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	36.5

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Agua dentro de los parámetros de norma

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS
Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr. estudiante bajo la dirección del responsable del laboratorio.
El análisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

Notas

Categoría del Diagrama

- 1) Primera semana, Agua Cruda
- 2) Primera semana, Agua Tratada
- 3) Segunda semana, Agua Cruda

- ☐ Certificado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Aprobado
- ☐ Para Información
- ☐ Por Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO

INGENIERÍA QUÍMICA

Andrés Francisco Ávila Velastegui

ANÁLISIS DE LABORATORIO
ÉPOCA VERANO

Lámina



Escala

Fecha

4

ANEXO V

ANÁLISIS DE LABORATORIO ÉPOCA INVERNAL


LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES


N° SE: 017 - 14

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Andrés Ávila
EMPRESA: TESIS ESPOCH
DIRECCIÓN: Ambato
TELÉFONO: 0995917084

INFORME N°: 017 - 14
N° SE: 017 - 14
FECHA DE RECEPCIÓN: 25 - 04 - 14
FECHA DE INFORME: 29 - 04 - 14

NÚMERO DE MUESTRAS: 1
IDENTIFICACIÓN: MA - 043 - 14
 MA - 044 - 14

TIPO DE MUESTRA:
 Agua potable Baños
 Agua potable Baños


El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 043 - 14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	pH	FE-LSA-01	6.47	+/- 0.08	25-04-14
* Conductividad	µS/cm	FE-LSA-02	29.70	+/- 8 %	25-04-14
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	6.55	N/A	25-04-14
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	65	N/A	25-04-14
Sólidos Totales	mg/l	FE-LSA-04	82	+/- 8 %	25-04-14
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO-E	2	N/A	25-04-14
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P	0.17	N/A	25-04-14
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO ₃ -E mod.	0.05	N/A	25-04-14
* Nitritos	mg/l	STANDARD METHODS 4500-NO ₂ -B	0.016	N/A	25-04-14
* Nitrógeno Amomiacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NO ₃ -BAC - mod.	0.42	N/A	25-04-14
* Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	28	N/A	25-04-14
* Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2320 - B	25	N/A	25-04-14
* Calcio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ca - 3111B	9.8	N/A	25-04-14
* Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0.19	N/A	25-04-14
* Magnesio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Mg - 3111B	1.94	N/A	25-04-14
* Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	61.01	N/A	25-04-14
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	18.59	N/A	25-04-14
* Fluoruros	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - F - D mod.	0.09	N/A	25-04-14

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 - Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.


 PMC2101-01

Página 1 de 2

I.S.A. Campus Máster Edición Riara Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA Andrés Francisco Ávila Velastegui	ANÁLISIS DE LABORATORIO ÉPOCA INVERNAL		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			5		

ANEXO VI

ANÁLISIS DE LABORATORIO CON OPTIMIZACIÓN

ESPOCH
 LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
 FACULTAD DE CIENCIAS
 Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador
INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS
 Solicitado por: Sr. Andrés Avila
 Fecha de análisis: 19 de noviembre del 2014
 Tipo de muestra: Agua tratada. (Prueba de jarras)
 Localidad: Baños de Agua Santa

Código: LAT 209-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	2.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.58
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	49.40
Turbiedad	UNT	5	0.12
Cloruros	mg/L	250	0.40
Dureza	mg/L	200	24.0
Calcio	mg/L	70	8.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	1.0
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	20.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	20.4
Sulfatos	mg/L	200	16.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.100
Nitritos	mg/L	0.01	0.00
Nitratos	mg/L	< 40	0.100
Hierro	mg/L	0.30	0.050
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.120
Sólidos Totales	mg/L	1000	87.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	32.0

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico


Observaciones: Agua dentro de los parámetros de norma

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA Andrés Francisco Ávila Velastegui	ANÁLISIS DE LABORATORIO CON OPTIMIZACIÓN		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			6		



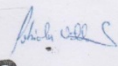
ANEXO VII ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO



SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 093387300 - 032924322 ó 0984648617 – 03360-260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA CÓDIGO 73-14

CLIENTE: Sr. Andrés Aviles		
DIRECCIÓN: Ambato	TELÉFONO:	
TIPO DE MUESTRA: Agua de consumo entrada		
FECHA DE RECEPCIÓN: 12 de marzo de 2014		
FECHA DE MUESTREO: 12 de marzo de 2014		
EXAMEN FISICO		
COLOR: Incoloro		
OLOR: Inoloro		
ASPECTO: Libre de material extraño		
PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
Coliformes totales UCF/100ml	Filtración por membrana	12800
OBSERVACIONES:		
FECHA DE ANÁLISIS: 12 de marzo del 2014		
FECHA DE ENTREGA : 10 de marzo del 2014		
RESPONSABLES:		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  Dra. Gina Álvarez R. </div> <div style="text-align: center;">  Dra. Fabiola Villa </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>		
<p>El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.</p> <p>*Las muestras son receptados en laboratorio.</p>		

Notas	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO INGENIERÍA QUÍMICA Andrés Francisco Ávila Velastegui	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
	<div><input type="checkbox"/> Certificado</div> <div><input type="checkbox"/> Por Aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Aprobado</div> <div><input type="checkbox"/> Para Información</div> <div><input type="checkbox"/> Por Calificar</div>		Lámina	Escala	Fecha
			7		

ANEXO VIII PROFORMA AGENTE COAGULANTE



N°0010-0162

R-PCT1-4	PROCESO DE VENTAS	29/06/2011
	COTIZACION	Edición 1

Quito, 15 de Enero del 2015

Señor
ANDRES AVILA
Presente.-

TESQUIMSA C.A., pone a su disposición la siguiente cotización:
COTIZACION

ITEM	CANT.	UND.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	SK	SULFATO DE ALUMINIO PRESENTACION SACOS DE 50 KG CADA KG 0,61 + I.V.A.	30,50	30,50
			SUBTOTAL		30,50
			12% I.V.A		3,66
			TOTAL		34,16

* Validez de la oferta: 30 días

* Plazo de entrega: Inmediata una vez confirmado el pedido, salvo venta
previa.

* Forma de pago: Contado

TESQUIMSA C.A., dispone de un Sistema Integrado de Gestión conформado
por las siguientes normas:

ISO 9001-2008: Satisfacción al Cliente.

ISO 14001-2004: Cuidado del Medio Ambiente.

OHSAS 18001-2007: Seguridad y salud Ocupacional de los Trabajadores.

Atentamente,

Ing. Jacqueline Estevez
GERENTE DE VENTAS
Telf.: 2800-387 / 0999461518

Barbolené Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2496 684 / 2495 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador



Notas

Categoría del Diagrama

- ☐ Certificado
- ☐ Por Aprobar
- ☐ Aprobado
- ☐ Para Información
- ☐ Por Calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO

INGENIERÍA QUÍMICA

Andrés Francisco Ávila Velastegui

PROFORMA AGENTE
COAGULANTE

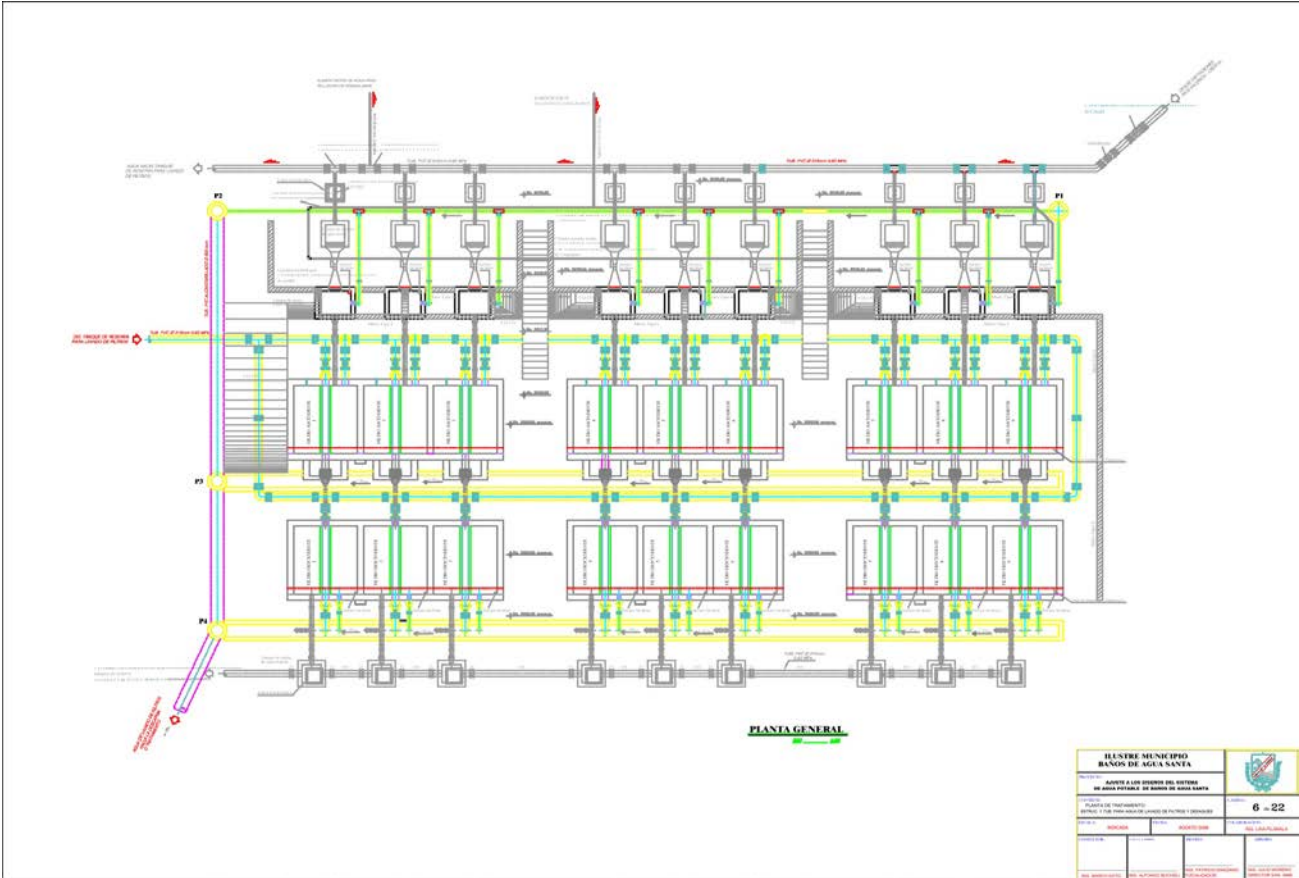
Lámina

Escala

Fecha

8

ANEXO IX **PLANO DE INGENIERIA CIVIL DE LA PLANTA**



Notas	Categoría del Diagrama	<div> <div>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</div> <div>INGENIERÍA QUÍMICA</div> <div>Andrés Francisco Ávila Velastegui</div> </div>	PLANO DE INGENIERIA CIVIL DE LA PLANTA		
	<div> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por Calificar </div>		Lámina	Escala	Fecha
			9		

